



汽车先进技术译丛

 Springer

车联网通信技术

Vehicular-2-X Communication

[德] 拉都·波佩斯库-泽雷廷 (Radu Popescu-Zeletin) 著
伊尔贾·拉都什 (Ilja Radusch) 著
米哈伊·阿德里安·里贾尼 (Mihai Adrian Rigani) 著
电信科学技术研究院无线移动创新技术中心 组译
高卓 房家奕 李凤 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车先进技术译丛

车联网通信技术

[德] 拉都·波佩斯库—泽雷廷 (Radu Popescu-Zeletin)

伊尔贾·拉都什 (Ilja Radusch)

米哈伊·阿德里安·里贾尼 (Mihai Adrian Rigani) 著

电信科学技术研究院无线移动创新技术中心 组译

高 卓 房家奕 李凤 译



机械工业出版社

本书以DSRC为写作对象,主要介绍了车联网的体系架构、应用场景和通信机制,其中通信部分讲述了物理层和高层协议的基本工作原理,并重点介绍了ad hoc网络中常用的路由协议,最后对信息安全问题进行了讨论。尽管本书内容简短、精练,但融入了作者多年来在车联网理论研究和实践方面的丰富经验,可作为车联网相关研究人员快速了解DSRC工作原理的理想参考资料。

Vehicular-2-X Communication.State-of-the-Art and Research in Mobile Vehicular Ad hoc Networks

by Radu Popescu-Zeletin, Ilja Radusch and Mihai Adrian Rigani

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Springer is part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved.

版权所有,侵权必究。

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer.This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan.Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act.Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由Springer授权机械工业出版社在中国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2016-0085号。

图书在版编目(CIP)数据

车联网通信技术/(德)拉都·波佩斯库-泽雷廷(Radu Popescu-Zeletin),
(德)伊尔贾·拉都什(Ilja Radusch),(德)米哈伊·阿德里安·里贾尼(Mihai
Adrian Rigani)著;高卓,房家奕,李凤译.—北京:机械工业出版社,2016.10
(汽车先进技术译丛)

书名原文:Vehicular-2-X Communication

ISBN 978-7-111-54540-8

I.①车… II.①拉…②伊…③米…④高…⑤房…⑥李… III.①汽
车-通信技术 IV.①U463.67

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第190174号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孙鹏 责任编辑:孙鹏

责任校对:张力 封面设计:鞠杨

责任印制:常天培

北京联兴盛业印刷股份有限公司印刷

2016年10月第1版第1次印刷

169mm×239mm·6.25印张·2插页·113千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54540-8

定价:69.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

译者的话

行车安全问题自汽车诞生之日起就成为交通领域最受关注的问题之一。降低交通事故伤亡率通常从两个方面入手，其一称为被动安全，典型技术包括安全带、安全气囊等，旨在降低事故发生时的人员伤亡概率；其二称为主动安全，典型技术包括制动辅助系统、电子稳定控制系统等，旨在降低事故发生的概率。传统的主动与被动安全技术已逐渐成为主流车型的标准配置，在降低事故伤亡率方面发挥了显著的作用。随着车载传感器技术的快速发展，近年来又诞生出了一系列主动安全类技术，比如盲区检测技术、车道偏离检测技术、前向碰撞预警技术等，部分技术已经在高端车型上应用。然而，传感器的探测范围通常与驾驶人的视觉范围相当，并且其测量精度和可靠性均有一定局限性，遭遇恶劣天气或周围车辆存在异常反射时，性能会显著下降。为了解决传感器的不足，汽车和通信工程师正在全力研究车联网技术，利用车车（V2V, Vehicle to Vehicle）、车路（V2I, Vehicle to Infrastructure）之间交互信息，可以极大提升车辆的环境感知能力，进一步降低事故发生率。V2X技术可认为是在主动安全技术基础上发展起来的预防式安全技术，除解决行车安全问题外，还将在提升交通通行效率、缓解拥堵、减轻环境污染等方面发挥显著的作用。该技术近年来已经成为国内外的研究热点，欧美等国家已经基于 802.11a 协议开发出了专用短距通信（DSRC），即 802.11p 协议，而我国企业主导的 LTE-V 标准也已经在 3GPP 成功立项，2016 年 9 月将推出 V2V 版本。

本书以 DSRC 为写作对象，主要介绍了车联网的体系架构、应用场景和通信机制，其中通信部分讲述了物理层和高层协议的基本工作原理，并重点介绍了 ad hoc 网络中常用的路由协议，最后对信息安全问题进行了讨论。尽管本书内容简短、精练，但融入了作者多年来在车联网理论研究和实践方面的丰富经验，可作为车联网相关研究人员快速了解 DSRC 工作原理的理想参考资料。

本书译者均来自大唐电信创新中心车联网产品线，大唐自 2011 年启动车联网领域的研究工作，基于 TD-LTE 技术设计完成了满足车联网短距通信需求的解决方案，于 2013 年 5 月 17 日业内首次提出 LTE-V 概念，并于 2015 年在南京和上海成功开展了 LTE-V 道路演示活动。大唐电信的车联网技术开发人员也非常乐于参与车联网技术的推广与传播工作。书中翻译难免有不当之处，敬请读者指正。

译者
2016.5

目 录

译者的话

参考文献 39

第 1 章 介绍 1

- 1.1 概述 2
- 1.2 为何引入车用通信 2
- 1.3 体系架构 3
- 参考文献 4

第 2 章 车用通信应用... 5

- 2.1 安全 6
 - 2.1.1 关键交通情形 8
 - 2.1.2 安全应用分类 16
 - 2.1.3 正常传输机制 18
 - 2.1.4 双向通信机制 20
 - 2.1.5 非自主系统 21
 - 2.1.6 快速警告提醒 23
- 2.2 资源效率 27
 - 2.2.1 自主系统 27
 - 2.2.2 正常交通提醒 28
- 2.3 信息娱乐 29
 - 2.3.1 ad hoc 服务 30
 - 2.3.2 供应商服务 31
- 2.4 应用需求总结 31
- 参考文献 33

第 3 章 通信机制 34

- 3.1 双向通信机制 35
- 3.2 基于位置的通信机制 37
- 3.3 基于位置的多跳通信机制 ... 38

第 4 章 车联网中的信息 40

- 4.1 信息精度 41
- 4.2 时间敏感信息 41
- 4.3 制动时间与距离 42
- 4.4 超车时间与距离 48
- 4.5 主动安全应用的时间区域 ... 49
 - 4.5.1 数据要求 50
 - 4.5.2 网络要求 51
 - 4.5.3 合作式避撞系统 52
- 参考文献 55

第 5 章 路由 57

- 5.1 多跳路由协议 59
 - 5.1.1 ad hoc 按需距离矢量路由 (AODV) 59
 - 5.1.2 网格位置服务 (GLS) ... 61
 - 5.1.3 贪婪周边无状态路由 (GPSR) 63
 - 5.1.4 地理源路由 (GSR) 64
 - 5.1.5 基于竞争的转发 (CBF, Contention-Based Forwarding) 65
 - 5.1.6 Octopus (八爪鱼) 68
 - 5.1.7 高级贪婪转发 (AGF, Advanced Greedy Forwarding) ... 69

5.1.8 首选分组广播 (PGB, Preferred Group Broadcasting)	69
5.2 安全多跳路由	71
5.2.1 ad hoc 网络认证路 由 (ARAN)	71
5.2.2 安全 ad hoc 按需矢量 (SAODV, Secure ad hoc on Demand Vector) ...	72
5.2.3 安全链路状态路由协议 (SLSP, Secure Link State Routing Protocol)	73
5.2.4 安全位置辅助 ad hoc 路 由 (SPAAR, Secure Position Aided ad hoc Routing)	73
参考文献	74

第 6 章 车用通信媒质 接入..... 76

6.1 概述	76
6.2 支持双向通信的 MAC 协议	76
6.3 基于位置的通信机制	77
参考文献	83

第 7 章 物理层技术..... 84

参考文献

第 8 章 安全.....	88
8.1 概述	88
8.2 安全架构	89
参考文献	91

第 1 章 介 绍

通用车用通信有望在以下领域提供诸多改进：事故避免和缓解；更好地利用道路、时间、燃油等资源；为信息娱乐类应用提供新机遇。然而在被普遍接受之前，车用通信与早先的交通信号灯被初次引入时一样，面临着种种麻烦和人们的置疑。1868 年，世界上第一台交通信号灯在伦敦面世，作为铁路指示灯。1912 年，第一台红-绿电气化交通信号灯被发明。在第一个交通信号灯出现约 50 年后的 1920 年，出现了第一个类似于现代交通信号灯的四路交通信号灯。

交通信号的引入来源于汽车的迅速流行——人类历史上第一辆汽车，一辆木制的摩托车，建造于 1885 年。不久，交通环境变得复杂起来，引发“路权”概念的出现，进而促成了后续第一个交通信号灯的出现。

就像交通信号灯是为了规范早期汽车生活，保护驾驶人、乘客、行人以及道路基础设施中其他参与者的必要手段一样，车用通信也是适应未来交通量进一步增长、显著降低事故数量的必要手段。

车用通信不仅可以提供扩展的虚拟信息范围，将前方危险情况警示驾驶人，从而避免事故的发生，还可以通过涉事车辆之间的近距离通信，降低那些不可避免的事故造成的损失程度。进一步地，当系统稳定后，车用通信可以演进为类似于合作式驾驶这样的范式，这就像交通信号灯从早期的手动控制演进到自动交通管理系统一样。当前文献已经显示，合作驾驶是更加有效的驾驶方式，可以提供更好的安全保障，提高交通流的稳定程度。合作行为非常有助于改善现有的应用，例如自动调整车速与前车保持一致（每辆车都由人驾驶），或者自动跟随前车从而构成车队（仅领头车辆由人驾驶）。但是合作驾驶可以进一步发展，第一次为碰撞避免或高速公路自动并线等应用提供可能的解决方案，而这类应用离开车用通信的支撑纯粹是梦想。截止到今天，合作驾驶的目标都是纠正危险状况下驾驶人的行为错误或偏差。

1.1 概述

本书将描述车用通信多个方面的内容，例如媒质接入控制、路由、安全以及伴随 ISO OSI 参考模型的车用通信标准。进一步地，本书将介绍并详细描述一些未来的车辆应用，例如利用车用通信的合作驾驶操作。此外，在上述技术性介绍之外，本书还将介绍一种结合现有交通及网络仿真的新型测试和仿真方法，它可以用于验证所介绍的车辆应用。本书也将概述车用通信相关的研究和开发项目。基于以下原因，我们坚信这些成果将很快被应用：

- 交通量爆发。
- 事故引发的损失（人员损失和财产损失）。
- 更强烈的环境保护需求。

交通量爆发指的是全球范围内所有工业化国家中正在增长且仍将增长的交通量，这将导致事故数量增加。

为了最大程度上获取车辆新技术带来的安全效益，应该把重点同时放在创新和执行两个方面。

1.2 为何引入车用通信

在汽车产业发展初期，道路和各类车辆被视为各个自治系统。后来，它们彼此之间仅存在体积尺寸上的影响，但分享共同的资源。虽然相关的道路法规已经出台，但是汽车仍作为自治系统。如今事故数量和交通拥堵与日俱增，这源自汽车数量的持续增长以及有缺陷的资源共享方式。接下来，人们需要采用新的方式来控制系统。新方式指的是新型应用，它可以支持车辆的完全自动驾驶。当前的重点在于特定困难情况下驾驶人操作的自动化。这些操作如果没有自动化支持，会导致事故数量的增加。此类应用的例子有：高速公路上车速自适应跟随头车、自动驶入高速公路、自动泊车。基于车用通信获取并以合作的方式使用周边环境感知信息，将是完成上述任务过程中向前迈进的一大步 [1, 2]。

智能交通系统的研究始于 20 世纪 80 年代末 90 年代初。开始时，研究方向从自动公路（AHS）转向智能车辆计划（IVI），试图提升安全性（驾驶人和其他道路使用者）、资源效率（道路的使用和燃油的使用）以及信息娱乐 / 高级驾驶人辅助系统（ADAS）。

在智能交通系统的研究早期，有三个方向可能得到改善：车辆（如自适应巡航控制、碰撞避免系统）、道路（自适应速度控制、高级交通管理）和驾驶人（例如提供高级交通信息、碰撞警示）。当然，大多数研究项目采用了混合方式，即尝试改进上述所有三个方向。

此外，自适应巡航控制的通用可行性和技术成熟度也得到了汽车制造商的重

视，因为它们本来就已经将“检测前方车辆”“保持适当的距离”“支持停-走交通”这样的功能集成在其豪华车系中。然而，这些技术对道路安全和交通效率的长期影响仍然需要通过大规模的现场测试进行验证。目前的研究显示了车辆间通信如何提高主动安全性，接下来将对其进行详细介绍。

车用通信为诸如以下应用带来了好处：提供不同的警示的应用（关于道路事故或者交通警示），对传统的应用加以改进如自动调整车速与前车保持一致（合作式自适应巡航控制），高速公路上辅助车辆并线（合作式并线），辅助跟随头车（合作式车队），辅助碰撞避免（合作式避撞）。上述应用中，“合作式”一词表示车辆间以车间通信的方式交换信息从而相互合作。这种通信提供的功能例如：车辆周围360°情况感知，其可靠度远高于本车传感器，且能提供所有方向上更远的覆盖区域，对不同的隐藏危险（例如事故或者弯道后的障碍物）进行警示。与基于雷达的传感器等现有技术相比，这些功能是无与伦比的。传感器的一大缺点是受天气条件、泥浆和灰尘的影响。

车用通信开辟了新的功能，下面来看这一技术具体是如何实现的。在下一章中，我们将给出此系统的一个基本设计。

1.3 体系架构

针对不同的应用，车用网络中信息的传输可以采用多种方式。我们定义三种通信机制：双向通信、单跳通信和基于位置的多跳通信。每种机制都被设计用于特定的通信。双向通信是经典的双方向通信。另外两种机制是单向通信。单跳通信速度快，而多跳通信速度慢。这三种通信机制详见3.1节，3.2节和3.3节。

为了发送应用层所使用的各个车载信息，我们需要一个协议来处理产生的消息并且尽量避免消息冲突。这被称为媒质接入控制（MAC）层。

为了在车用网络中发送消息，我们也需要物理信道以及专用的频率资源。这被称为物理层（PHY）。这里我们给出未来车用通信使用的协议，其名称为专用短距通信（802.11p）。

为了将一个数据包从源节点移动到目的节点，我们需要一个路由层。

架构，是“一个系统内各组件的基本组织方式，包括组件之间的关系，组件与环境的关系，以及指导该系统设计和演变的原则”[3]。

图1-1中给出了车用通信架构的概述。

图中顶层是应用层，它们是基于新的通信系统所诞生的应用；接下来是通信系统中从上至下的各个协议层。这里最上方我们给出了通信机制，然后是剩下的协议层：路由层、媒质接入控制（MAC）层和物理层（PHY）。与这些并列的是安全层。

首先，我们将介绍车用通信中的应用。



图 1-1 通信协议层架构

参考文献

1. L. Andreone and M. Provera, Inter-vehicle communication and cooperative systems: local dynamic safety information distributed among the infrastructure and the vehicles as “virtual sensors” to enhance road safety, <http://www.car-to-car.org>
2. B. van Arem, C.J.G. van Driel, and R. Visser, The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics, 2006
3. IEEE, IEEE standard 1471-2000: IEEE recommended practice for architectural description of software-intensive systems, 2000

第 2 章 车用通信应用

基于最新的分类方法（如 Car-2-Car CC 组织采用的），本书将应用分为如下扩展的三个顶层领域（图 2-1）：

- 安全。
- 资源效率（包括交通效率和环境效率）。
- 信息娱乐和高级驾驶人辅助服务（ADAS）。

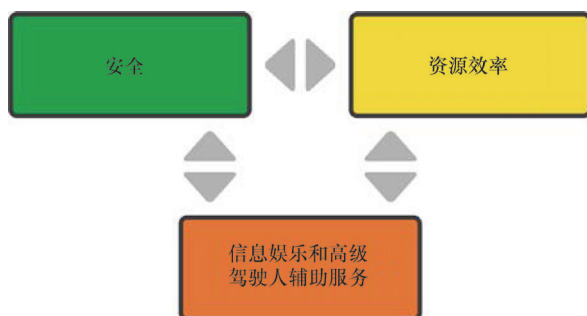


图 2-1 应用领域

安全领域，是指那些用于增强对车载乘员和车辆自身保护的应用或系统。该系统通过避免或减少事故影响来挽救生命。

资源效率领域，是指提升交通通畅程度，在今天和未来都有极大的意义，因为交通拥堵正在成为一个日趋严峻的问题。更高的交通效率将减少拥堵并降低燃油消耗，有助于降低对环境和经济的影响。

信息娱乐和高级驾驶人辅助服务领域，是向驾驶人或者乘客提供娱乐或信息服务。通过提供诸如不停车收费这样的各种服务，可以使得驾驶过程更为舒适。娱乐方面的例子有：通过车载按键、触摸屏或者声控等方式，播放音乐、拨打电话或收听文本消息。信息娱乐和高级驾驶人辅助服务还包括当前已经部署的系统，如导航系统、免提系统，或是提供车辆与智能手机 /PDA/iPod 进行连接的智能接口。

2003 年，车辆多媒体接口联盟（AMI-C）提出对汽车相关的研究用例的分类

方法 [1]，该方法后来被 OSGi、ISO TC222、蓝牙、ITU-T 以及 1394 贸易协会所采纳。AMI-C 定义了 18 种一级类别（以及 1 个额外的“组合”类别）。AMI-C 建议采用的通信技术多种多样，包括现成的收音机 / 电视机、移动电话，以及制造商提供的 V2V 通信硬件。

2.1 安全

我们通过分析事故统计数据，定义最频繁发生的导致事故的交通场景。由此可以看出，相比其他车辆检测和避撞系统，基于车用通信的避撞系统可以提供意想不到的好处。

根据全世界范围内的车辆事故统计数据，2004 年全球约 100 万人死亡，约 4000 万人受伤 [2]。人们试图努力降低事故数目，但由于车辆数目本身在持续增长，采用现有技术很难达到这个目标。接下来，我们将概述以下不同类型的事故 [3~5]：

- 正面碰撞（与其他车辆）。
- 追尾碰撞（与其他车辆）。
- 侧面碰撞（与其他车辆）。
- 车辆与固定物体碰撞（如树木）。
- 车辆与自行车碰撞。
- 车辆与行人碰撞。
- 车辆与动物碰撞。
- 车辆翻滚（如弯道车速不当）。
- 平交路口事故（火车道口）。
- 多车碰撞。

基于交通工具的 2004 年欧洲（不含德国）公路死亡人数分布 [6] 如图 2-2 所示。可以看出车辆排在首位（54%），接下来是行人（14%）、摩托车 / 助力车（20%）、自行车（5%）和货车（5%）。

值得注意的是，超过 80% 的死亡发生在良好的天气条件下（图 2-3）[6]。

车载乘员的生命安全取决于驾驶人对例如突然出现拥塞尾端的突发事件的反应速度。其他因素，诸如恶劣天气条件（如雾 / 雨）或者低能见度（如弯道），也会导致事故概率的增加。更有甚者，许多主观因素（视线差、缺乏经验、疲劳、饮酒）都会导致驾驶人犯错或者反应过慢。然而即使最有经验的驾驶人也无法战胜自动化系统的反应时间。例如，常见的失败原因是在紧急情况下未对制动踏板施加足够的力量。为此，人们引入了半自动制动辅助功能，它可以根据驾驶人踩踏制动踏板的速度，及时启动全力制动。

道路安全始终是一个问题，但由于汽车数量在不断增长，事故总量也随之不断增加，因此寻求更好的安全系统显得越发重要。汽车为现代世界带来了机动性和

自主性，但它也不幸地引发了如此巨大的人类生命损失。然而这一切是能够得到改变的。

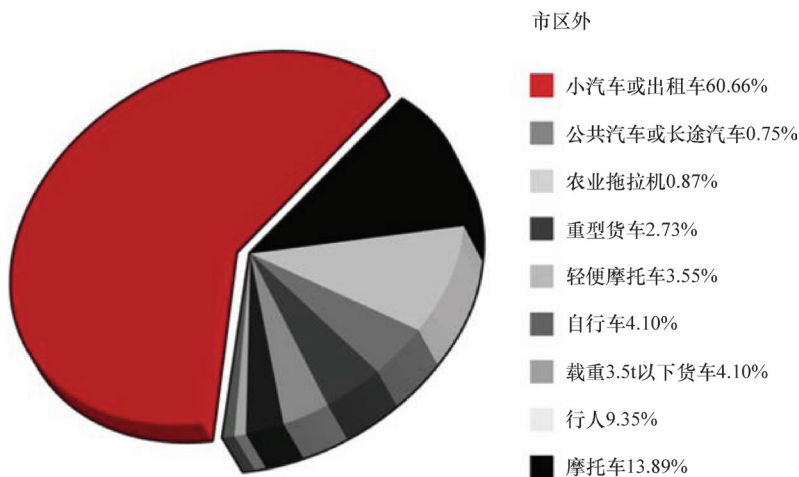


图 2-2 基于交通工具的欧洲全部事故 [6]

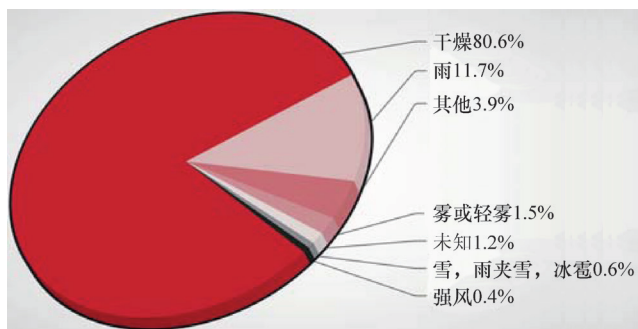


图 2-3 基于天气条件的 2004 年欧洲全部事故 [6]

今天，人们已经着手开展研究和开发工作 [7]，通过开发驾驶辅助系统来解决道路安全问题。该系统基于传感器技术，能够检测车辆周围的交通状况并在危险情况下警告驾驶人。这类系统被称为主动安全应用。这是一个开始，但仅仅依靠本地传感器是不够的。

解决方案是将主动安全技术提升至下一代水平，也就是我们所说的预防式安全，使得车辆之间可以彼此通信和协同，从而避免事故。我们的目标是将道路交通事故降低到与当今飞机失事相当的罕见程度。欧盟委员会在其安全程序中表达的愿景是 2020 年实现“零事故死亡”[8]。为了有效地实现“车辆感知周围状况”，除了车辆间通信外，车辆与基础设施之间的通信也是必要的。

需要为道路基础设施，例如交通信号灯、道路标识等，安装通信对端 [9]。这需要来自汽车制造商或者政府机构的直接投资。车辆到路边单元的功能可以更进一步，例如将车辆位置、速度传输给交通信号灯，使其适应交通需求。例如，在高峰时刻，车辆可以通知交通信号灯改变相位转换的时间。必要的话，交通信号灯可以缩短红灯时间、拉长绿灯时间，从而加快车辆通行速度。

预防式安全应用未来将会像现在的安全带一样普遍，但这可能需要较长的时间。安全带的普及花了几十年时间，最终还是在法律要求下得以实施。

然而，合作式安全应用需要安装比例达到特定程度才能工作。表 2-1 给出了车辆安装比例不同时对安全领域车用通信应用的影响 [9]。

表 2-1 应用的渗透率

应 用	所需渗透率
本地危险警告	低（约 10%）
合作式驾驶	高（100%）

可以看出，警告只需很低的渗透率（大于 10%）即可工作，而合作式驾驶则需要高的渗透率（100%）才能工作。这一数字基于仿真和实测结果，代表的是发挥正面作用（提供更多的时间用于避免可能的碰撞）的最低渗透率要求。由于合作式驾驶取消了驾驶人采取特定动作的责任，因此它必须 100% 可靠。这意味着它要求 100% 的渗透率。

基于所需的渗透率，我们首先将应用分为“合作行为”和“警告”，并简单概述“合作行为”的确切含义。安全领域应用的详细分类见 2.1.2 小节。

“合作行为”是指车辆通过通信，了解对方的意图和位置，从而实现彼此间合作的能力。车辆需要共享它们所拥有的信息。“合作行为”能够使用自车传感器以及其他车辆传感器，因此可以提升环境感知能力。合作式应用的例子有：合作式并线、合作式自适应巡航和合作式前向碰撞避免警告（2.1.2 小节描述）。

不同的警告，表示道路事故提升或者交通提示，目的是通过避免事故来提升交通通畅度。警告类应用的例子包括：危险警告，紧急车辆驶近警告，慢速车辆警告，交通拥堵警告。当然，所有这些警告都需要通过车用通信来实现可靠分发。

前面所述的车用通信应用给驾驶人以极大的好处。总之，它们以一种前所未有的方式创造新的信息或者共享已有的信息。

2.1.1 关键交通情形

下面给出可被避免的潜在交通事故的不同情形。可以基于以下因素对这些情形进行分类（图 2-4）：

- 道路 / 地点类型（直线、弯道、交叉路口、直路）。
- “障碍物”类型（汽车、摩托车、自行车、行人、动物、树木、支柱）。
- 参与双方的相对位置（会车、正向行驶、尾随行驶、侧向行驶）。



图 2-4 交通情形分类

下面将详细描述上述第三种分类，因为车用通信在这些场景中能够增强安全性。在该分类下的所有情形中，均要求具备以下检测系统：

- V2V 通信。
- 雷达。
- 摄像头。
- GPS 以及地图。

2.1.1.1 近距离会车（迎面）

此场景必须考虑一些特殊需求，例如最小化将其误判为正向碰撞的虚警概率。另一方面，可能发生的侧向“刮蹭”是必须避免的。为了实现这些，必须维持一套所有运动数据的参数（位置、速率、朝向等）并实时更新。典型场景为：两辆车被迫在窄桥上近距离会车（图 2-5）。

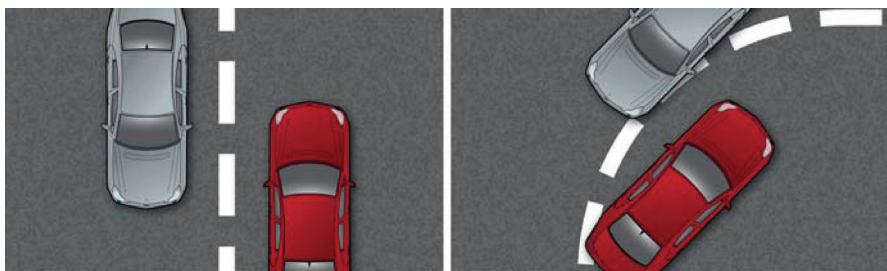


图 2-5 会车

2.1.1.2 迎面车辆碰撞

此情形通常出现在超车中。车辆之间相对速度极高（两车车速之和），因此这类碰撞是最危险的（图 2-6）。

当对向行驶的两车距离达到“最迟制动点 / 制动距离”时，应进行如下分析：

- 如果可以成功完成超车（基于两车参数：加速度，速度，见上）=> 无须干预。
- 如果不能成功完成，那么需要考虑其他解决方案（依次）：
 - 制动并采取适当措施，保证车辆可以重新进入欲超车车辆的后方间隙。

- 完全停止，若时间允许也可以掉头（如果上述行动无法完成）。这是一个尽量减少影响的极端解决方案。

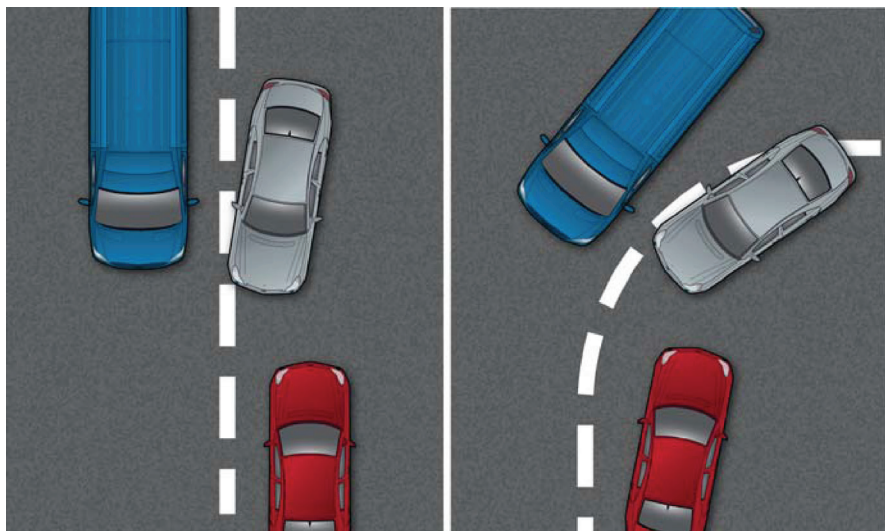


图 2-6 迎面车辆碰撞

在沥青干燥路面上，处于正向碰撞危险的，各自车速 120km/h 的车辆之间的停止距离约为 7s（140m）。超车距离取决于加速度（车型、速度），但可能需要 100m 至几百米，见表 4-4 和 [10]。

2.1.1.3 追尾车辆碰撞

此类碰撞在德国涉及死亡或伤害的事故中占比超过 17% [11]。根据参考文献 [6]，1998 年欧盟内（10 个国家，不含德国）所有事故（受伤和遇难）中的 13.3% 为追尾事故。同样，相比农村和城市，此类事故更常见于高速公路（图 2-7）。

应当基于每辆车的车型和当前速度来设置“最迟制动点”，以此来始终保持停车距离。例如，如果车辆行驶速度为 120km/h，它会知道其停车距离为 90m，而另一辆新车的停车距离可能仅为 60m。在双车道公路上超车时，如果总是要求与前车保持如 90m 这样的距离，那么会产生超车过程延长的问题。但是，如果并非每辆车都安装了碰撞避免系统，那会发生什么呢？此时前车应该同样监测其后车情况，从而确定后车是否无法及时停止（V2V 通信）。

一般而言，基于雷达的传感器（探测距离为 150m）[12, 13] 也许足以让车辆从 160km/h 的车速停下来（如果不叠加人的时延）。如果人为突破了“最迟制动点”（如超车中缩短车间距），以至后车无法及时完全停止，则需要进行分析：

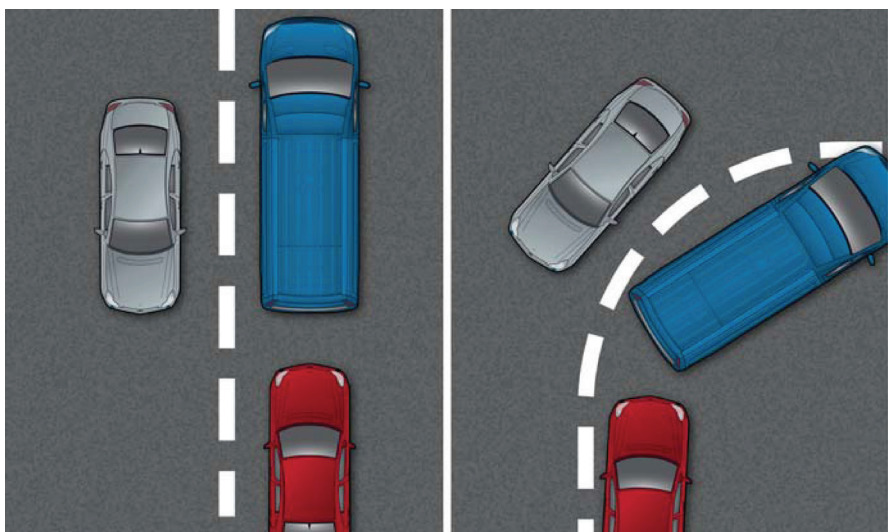


图 2-7 追尾车辆碰撞

- 制动并做出合适的动作以便刚好避开车辆（侧向雷达必须开启以确保可以实施该动作）。必须确定最佳应对方案，例如在本车道相撞速度为 80km/h，而避让到邻车道则相撞速度变为 50km/h，那就应该选择避让（要考虑碰撞中所有车辆的速度）。

2.1.1.4 交叉路口侧向碰撞

交叉路口类型多种多样，侧向碰撞的角度不一定是直角。不考虑任何交叉路口信号而仅基于传感器实现碰撞避免系统一般是不可能的。为了避免在交叉路口碰撞，需要与基础设施（交通信号灯）和其他车辆进行通信——也可能实现采用视觉方式识别交通信号灯。仅基于传感器的碰撞避免系统可以在追尾场景的判决原则下工作，但只能在“一辆车已经进入交叉路口而另一辆车尚未进入且有足够时间完全停止”的条件下成功（图 2-8~图 2-14）。

“合流车道”是交叉路口中的一种特殊场景，可以使匝道车辆无碰撞地加入流动车流中。其中包括两个子场景：

- “换道”碰撞。如果多车平行行驶，其中一辆车需要驶入其他车辆的车道（匝道结束），则需要横向传感器以优先检测盲点（见图 2-15）。仅基于这些传感器将很难做出决定。因此为了在此场景下实现可靠的碰撞避免系统，一套 V2V 通信系统是有益的（为了建立行驶优先权 / 车辆间达成一致）。
- 如果车辆已经驶入前方，那么此场景将变为 2.1.1.3 小节描述的追尾碰撞避免。

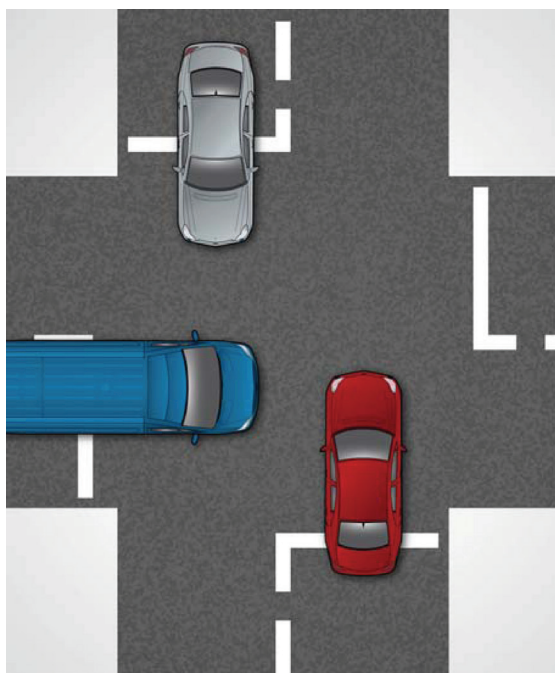


图 2-8 直角交叉路口



图 2-9 左转



图 2-10 同方向两车道左转



图 2-11 右转



图 2-12 弯道交叉路口

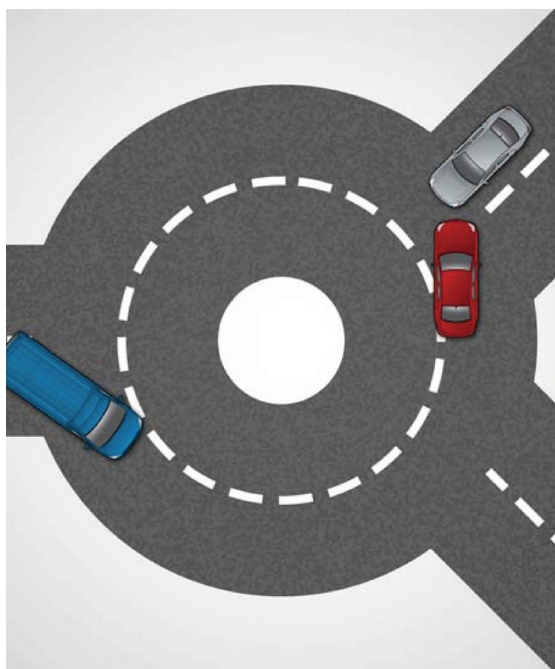


图 2-13 环岛交叉路口

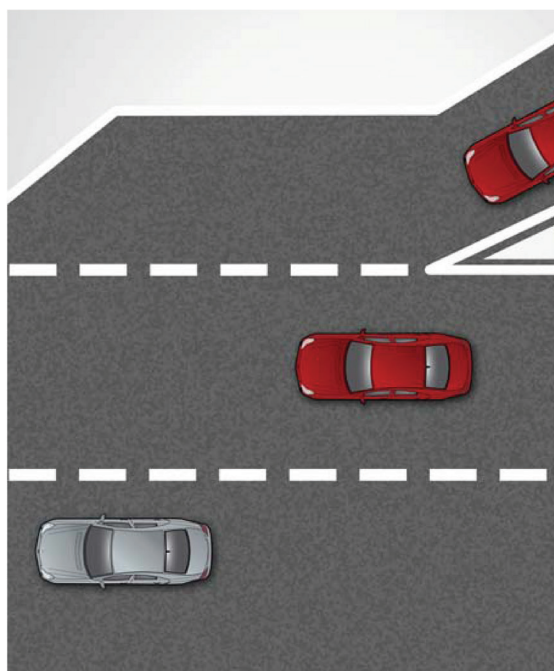


图 2-14 合流车道

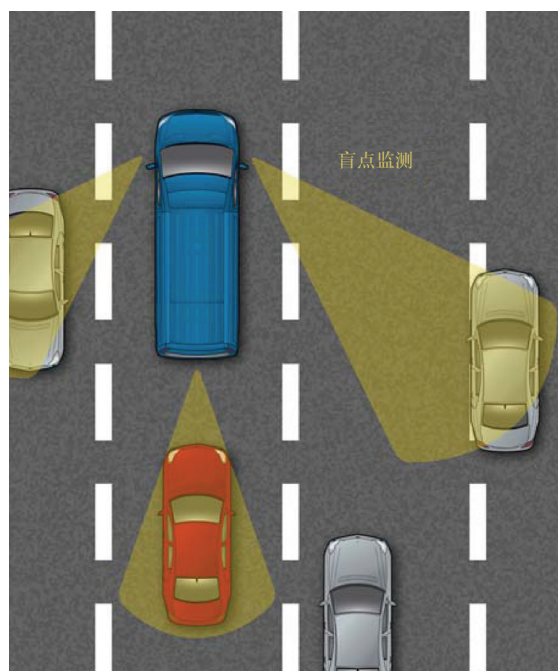


图 2-15 货车盲点区域

基于 2004 年欧盟（不含德国）事故案例研究 [6]，只有 21.7% 的事故发生在交叉路口。摩托车和轻便摩托车用户死亡事故中近 30% 发生在交叉路口。相比较而言，汽车乘客死亡事故中只有 17% 发生在交叉路口。完整的统计表 2-2 见下。

注意，大部分（约 80%）交叉路口事故发生在城市。

表 2-2 事故案例研究 [6]

	位于交叉路口 (%)	位于非交叉路口 (%)	未定义 (%)
汽车	17	77	6
行人	24	70	6
摩托车	28	68	4
轻便摩托车	34	62.5	3.5
自行车	44.5	52	3.5
货车	14.5	79	6.5

2.1.2 安全应用分类

基于安全应用的不同用途，我们将安全领域分为被动安全、主动安全以及预防式安全（图 2-16）。

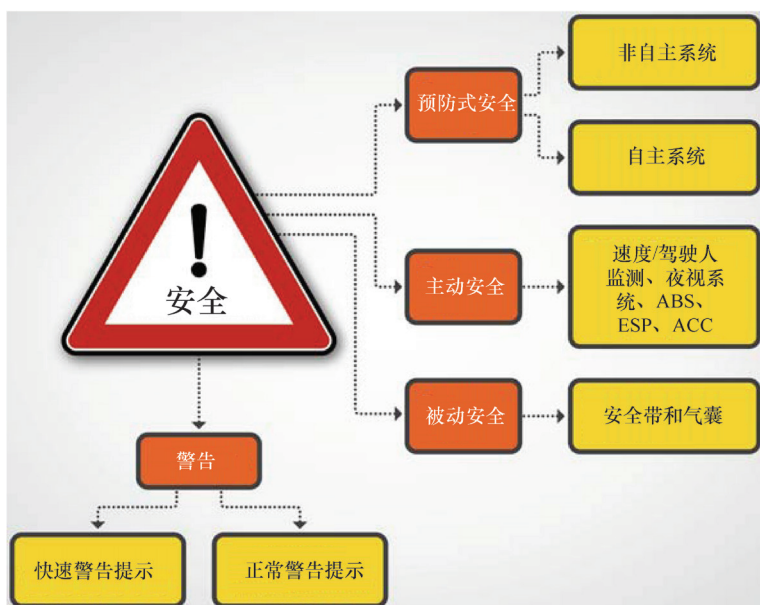


图 2-16 安全应用

被动安全指的是那些可以帮助人们在事故中生存和防止受伤的功能，如安全带和气囊。车辆尺寸（越大越安全）也同样被视为是被动安全功能中的一种。

主动安全功能可以帮助驾驶人避免事故。它包括安全车速、驾驶人监测、ABS

制动辅助（BA）、电子稳定控制（ESP）和基于传感器的创新辅助系统，例如侧向支持、夜视，以及基于雷达的安全跟随系统（自动巡航控制）。

然而，被动安全和主动安全应用都没有使用车用通信，因此后续不再进一步讨论。

另一方面，预防式安全和基于警告的应用则属于本书的主题，因此我们将以特定的特性（也称为用例）对其进行详细说明。

预防式安全功能可以预测紧急态势并采取主动行为加以应对，因此可以避免可能的事故。这包括自主系统（例如碰撞避免）和非自主系统（例如换道警告）。预防式安全功能可能是主动安全功能的增强，也可能是离开车用通信就完全不可能实现的全新功能。然而，仍然应当鼓励采用主动安全功能，其中一些例如基于雷达的功能可以与预防式安全功能一起使用，用于检查车载网络提供信息的真实性。预防式安全功能是基于永久性的信标消息的，其中包括动态数据（位置、速度等），它能够用于预测和避免可能发生的事件。预防式安全应用有关的例子是试图警告可能的碰撞，如合作式前向碰撞警告、合作式交叉路口警告或者车道变换辅助，将在本节详细阐述。

警告功能代表一个临时的提醒（一个触发事件）。我们进一步将这些提醒分为两类：快速提醒和正常提醒。

这四组功能（自主 / 非主系统，以及快速 / 正常警告提醒）都需要车用通信的支持，接下来将对其详细阐述。每组都为更多的应用而共享共同的需求。整体想法是为整个组定义通用需求，而非为未来可能新出现的单个应用去定义需求。后面也将给出单个应用的例子。

自主系统以自动的方式完成一个或多个任务。由于存在多重挑战，那些由用自动化技术以完全无人方式操作的自主车辆可能还需要 10 ~ 15 年时间才能面世。除了技术性挑战外，社会性挑战是一个重要的问题。社会性挑战是指如何说服人们信任车辆，还涉及法律问题，从而允许自主车辆在公共道路上行驶。在技术层面，之前的尝试，主要是基于从各种传感器中获取的信息，例如摄像头和雷达，来实现自主车辆，见意大利的项目（Argo）[15]、欧盟项目（Eureka Prometheus）[16] 或者美国项目（DARPA 大挑战）[17]。未来，通过使用可靠的车用通信及安全措施，自主车辆将不再是梦想而会成为现实。当然，除了正常通信，也要求车内具备人工智能。

本书中我们定义自主系统为：基于信息交换来创建自动化任务从而增强驾驶安全性（例如合作式自适应巡航控制），如图 2-17 所示。

自主系统的功能基于自身状态知识，以及基于在传输范围内收到的所有车辆的永久信标信息。除了无线通信外，必须采用目标检测（基于雷达的传感器）作为备份。必须满足如下需求：

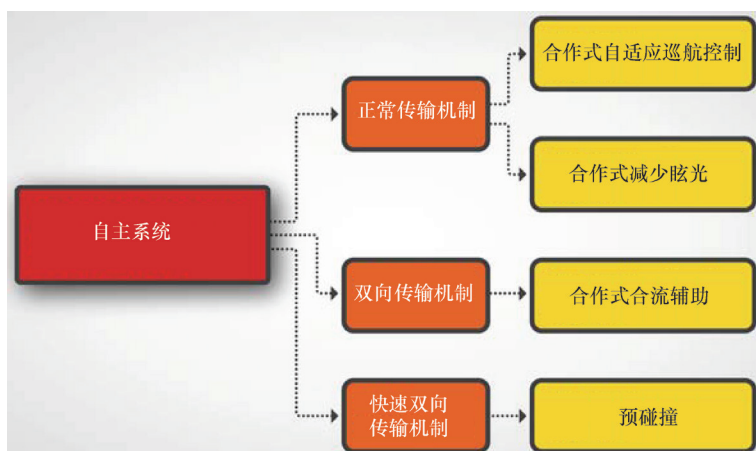


图 2-17 自主系统

- 一个地图数据库（包括车道几何）。
- 永久消息和特定传感器。
- 将多种传感器和车用通信进行数据融合。
- 分析输入数据并进行决策的逻辑系统。

基于位置的单跳传输机制是由 MAC 层以及位置发现服务和位置更新服务所实现的（见 3.2 节、第 4 章、第 6 章的解释）。发现服务只需要听，因为其需要通过收听邻节点周期性发出的信标，也称为“永久性”信标，来获取信息。因此，可以建立与邻节点之间的内部地图。每个节点的位置更新功能必须始终保持两方面信息：邻节点的无线通信范围和单跳邻节点的位置。这里无须转发路由。这两种服务可能在 Octopus 或 CBF（基于竞争的转发）算法基础上稍做修改，去掉转发机制和周围节点应答机制。消息频率（更新率）为 500ms 且要求很高的包递交率（PDR），因此该应用要求时延低于 100ms。包递交率代表每个发送包的成功接收情况。消息更新率应该足够高，从而即使在错过（丢失）一个消息的情况下，也不影响应用程序。参考文献 [18-20] 指出，PDR 至少要达到 99%。

传输类型：车—车和 / 或车—路。

应用类型：预防式安全和交通利用率。

按照所采用的传输机制，我们划分了三种自主系统：正常（基于位置的单跳广播、永久信标）、双向和快速双向。对这些传输机制的解释见第 6 章。

2.1.3 正常传输机制

2.1.3.1 合作式自适应巡航控制

合作式自适应巡航控制（CACC）是一种可以通过信标消息获取前方车辆动态性，从而提升自适应巡航控制（平顺制动和加速，提升交通流畅性，降低油耗）性

能的系统。早期研究 [21] 和当前研究 [22] 指出, 显著减少死亡事故数量的最佳途径是以自动化巡航控制方式实现碰撞避免。该应用不仅提升安全性, 也能提升道路交通效率。自适应巡航控制可以相对前车保持期望的巡航速度, 也可以在需要的时候通过制动来调整该巡航速度。必要时, 可以将车辆完全停止, 后续还可以重新启动加速, 这被称为“停一走”功能。然后, 它将跟随前车行驶, 直到该车车速超过期望的巡航速度或者驶出车道。期望的巡航车速由驾驶人进行设置。该合作式应用应该提供一个最佳的车速调整功能, 从而跟随前车 (如果确有前车时), 同时也要保持正确的安全车距。它是一个完全自动化系统, 不需要驾驶人干预。必须使用信标消息, 因为研究表明, 基于传感器的系统有时候难以识别出哪辆车位于本车行驶路径的前方。基于传感器的系统 (雷达) 在变换车道或者道路线型在直线 / 弯道之间变化时会特别不精确。车用通信可以允许车辆在更高级的控制下与前车保持更近的距离。这样做的一个原因是车辆之间可以彼此协调车速变化 [23, 24]。仿真研究表明, 交通冲击波的数目将随装备 CACC 功能车辆数目的上升而减少。这是因为, CACC 密集车队避免了其他车辆的插入。该系统必须与合作式合流辅助 (CMA) 应用配合使用, 从而在车队内部插入较长的间隔, 或者在合流区建议变换车道。该应用降低了空气污染、能源消耗等负面影响。注意虽然此应用属于预防式安全类别, 但它也同样提升了交通利用率和环境保护水平。

2.1.3.2 合作式减少眩光

合作式减少眩光 (CGR) 是一种在黑暗条件下能够基于与前方路径区域内的车辆距离自动切换高低光束的系统。除了车用通信 (用于建立周围车辆的地图) 外, 也需要光线传感器。该服务也可以用于在无信号灯的交叉路口警告垂直方向驶来车辆的驾驶人。此应用并不实际控制车辆, 因此也许 PDR 达到 95% 就足以满足要求了。

2.1.3.3 合作式合流辅助

合作式合流辅助 (CMA) 使车辆可以安全、自动化的方式加入流动的车流中 (如高速公路入口)。它允许匝道车辆加入而不破坏交通流 (图 2-18)。

在此应用中, 基于车辆间交换的信息 (如车辆速度、位置等), 车辆可以做出如何加入车流的最佳决定, 从而消除驾驶人的误解。基于数学事实推断, 可靠的自动化系统明显比驾驶经验丰富但仍然可能误判的驾驶人更为安全。该应用不仅提升安全性, 而且也能提升道路的交通效率。在高速公路以及入口车道上, 驾驶人之间的误解会造成严重的事故, 特别是在涉及没有经验的驾驶人时。该应用以自动化车流调整为主要内容, 提供坡道测量服务, 可以告知合流车辆应以多大的速度前进从而正好插入车流的空白地带 [25]。基于通信, 车辆彼此间可以协商合流过程。具体来说, 在查询所有周围相邻车辆后, 车 1 希望在车 2 的前方进行合流。车 X 代表其他周围一跳通信距离内的相邻节点。经过检索周围车辆 (车 2, 车 X) 的位置、速

率、朝向，车 1 识别出需要与车 2 建立双向连接，从而向车 2 发送双向机制连接请求并等待车 2 的确认消息。接下来开始实际的连接维持过程（用于车辆合流过程），而当车 1 认为不需要时终止连接。

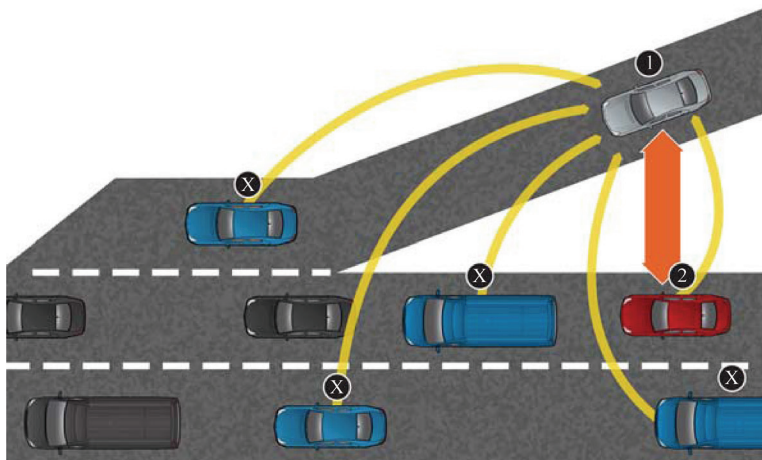


图 2-18 合流辅助

此应用应属于预防式安全类别，也属于交通效率类别。它使用两种通信机制：①基于位置的单跳通信机制，用于获取周围车辆的远程信息；②双向通信机制，用于与特定位置的车辆间协商合流过程。

2.1.4 双向通信机制

预碰撞感知

预碰撞感知（PCS）是一种用于在影响迫在眉睫的情况下优化驾驶人安全的系统。车辆在碰撞不可避免的情况下，基于信标信息和基于雷达的传感器，发起并使用一种快速双向单播传输来交换例如车辆属性等额外信息，以此来更好地配置被动安全特性，如气囊、电动安全座椅安全带预紧、可扩展保险杠等（图 2-19）。

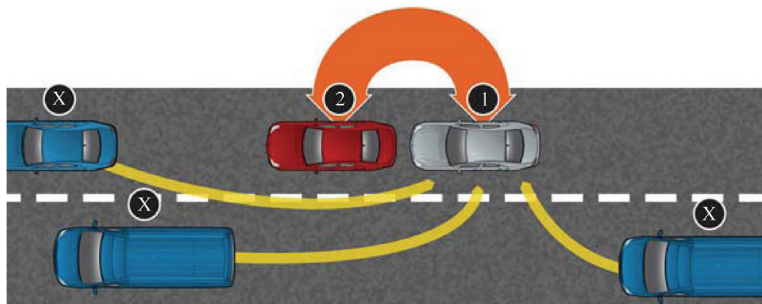


图 2-19 预碰撞感知

具体来说，当车1（发起方）检测到即将与车2（响应方）发生不可避免的碰撞时，车1的车辆逻辑请求与车2建立连接。通过监视通信系统的可用服务列表，车1可以检测出车2是否支持预碰撞感知连接。如果车2的确支持，则车1向车2的通信系统发起一个快速双向连接。这里假设通信系统基于底层标准来建立连接。一旦连接建立完毕，车1请求车2提供（车辆重量、保险杠高度等）信息。车X代表其他周围一跳通信距离内的相邻节点。

2.1.5 非自主系统

非自主系统是指基于内置的车辆警告功能来避免事故的系统（图2-20）。此类系统只对驾驶人告知危险，但并不进行自主处理。此类系统基于单向永久信标消息。

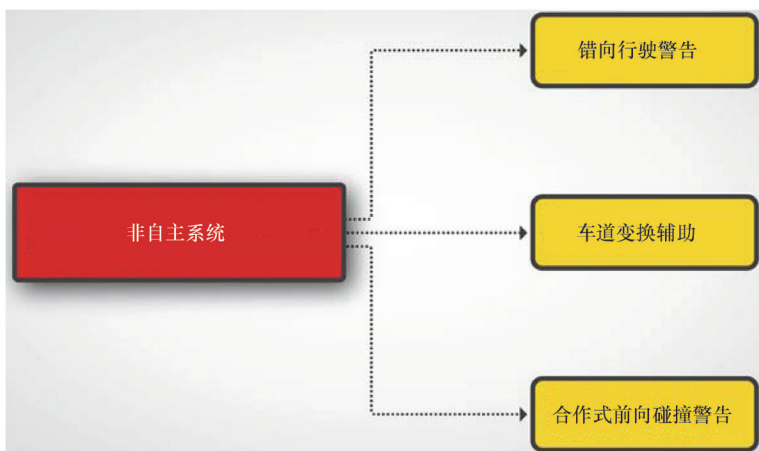


图 2-20 非自主系统

车辆内置的警告系统在可能发生碰撞时提醒驾驶人。发表警告的决定是基于自身状态以及从所有传输距离内车辆发出的永久信标消息。当车辆预测即将发生碰撞时，它将通过视觉、听觉或者触觉对驾驶人发出警示。如果系统认为驾驶人还有足够的时间来避免碰撞，它将不会试图控制车辆。除了无线通信之外，当通信失败或者无法识别未安装通信设备的车辆时，必须使用目标检测（基于雷达的传感器）作为备份。

必须满足如下需求：

- 一个地图数据库（包括车道几何）。
- 永久消息和特定传感器。
- 将多种传感器和车用通信进行数据融合。
- 分析输入数据并进行驾驶人警告判决的应用逻辑。
- 人机接口（HMI），内置于车辆，包括视觉、听觉和触觉警告。

传输类型：车 - 车和 / 或车 - 路。

应用类型：预防式安全。

通信机制：单跳基于位置（永久信标）。

单跳基于位置的永久信标功能，在非自主系统图中描述的各类应用要求的最低 PDR 为 95%。

各个单独的应用将在后续章节中描述。

2.1.5.1 合作式前向碰撞警告

合作式前向碰撞警告（CFCW）是一种与前方车辆可能碰撞时对驾驶人警告的系统。通信不仅可以实现感知周围环境中其他车辆的存在，还可以通过共享能力来实现“穿透车辆”的感知效果。这种穿透信息在一些大型车辆（如货车）参与时是至关重要的。如果碰撞迫在眉睫，将警告驾驶人采取相应的处理。它主要是为驾驶人提供避免与其他车辆追尾碰撞的辅助作用。在全世界范围内，追尾碰撞占据事故总量中的显著比例。具体来说，考察车 1。车 2 位于其前方，车 X 代表周边一跳通信范围内的邻节点。在车 1 的碰撞计算中，仅考虑来自车 2 的消息（图 2-21）。

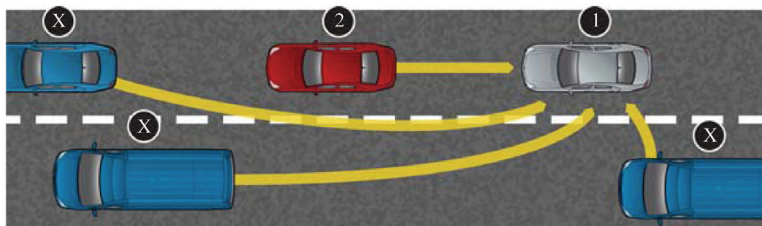


图 2-21 前向碰撞警告

2.1.5.2 车道变换辅助

车道变换辅助（LCA）是当驾驶人试图变换车道时，警告驾驶人有其他车辆正在驶进相邻车道。这也采用了“盲区”监测自车的左 / 右后方，以及车道偏离警告。该系统可以防止侧向相关碰撞，包括盲点，并在恶劣能见度条件下协助驾驶人（图 2-22）。

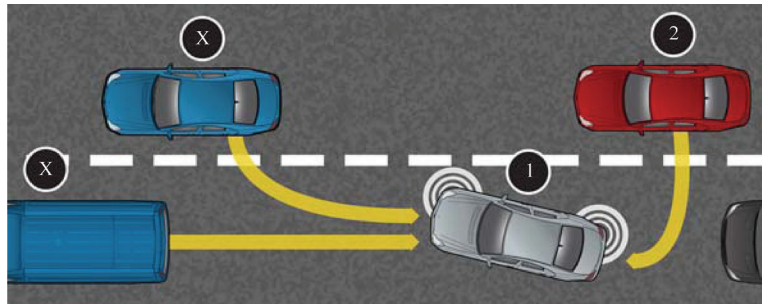


图 2-22 车道变换辅助

2.1.5.3 错向行驶警告

错向行驶警告（WWDW）是一种识别其他行驶方向错误的车辆，并警告驾驶人可能产生的碰撞（图 2-23）的系统。只有在本车前进区域内的车辆才需要关心。仅在德国，广播电台报道每年约 1800 名驾驶人驶入错误方向的车道 [26]。

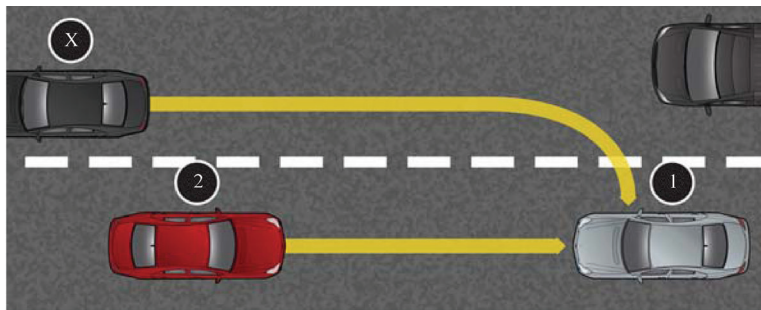


图 2-23 错向行驶警告

2.1.6 快速警告提醒

快速警告提醒，是指需要通过单跳发送给其他车辆的提示，必要时还可以为其限定区域（图 2-24）。



图 2-24 快速警告提醒

必须满足如下需求：

- 一个地图数据库（包括车道几何）。

- 警告消息。
- 分析输入数据并进行驾驶人警告判断的应用逻辑。
- 将警告提醒发送给车辆。
- 人机接口（HMI），内置于车辆，包括视觉、听觉和触觉警告。

除了提醒之外，也要使用永久信标来创建车辆或路侧单元的邻居列表。这可以通过前面自主系统章节描述的单跳基于位置的永久信标功能实现。警告提醒是由一个事件（位于车辆或者路侧单元中的逻辑系统的判断）所触发的。在路由层，车辆仅监听特定信道是否有来自路侧单元或者其他车辆的警告，不需要转发路由算法。位置更新和发现是基于永久信标进行的。另外，我们试图为车用通信中的一些关键参数定义一些特殊的取值（见第4章）。此类应用组需要较低的时延，因为可能要对消息进行重传（见下面的描述），但并不需要达到永久信标消息那样低的时延。为了尽快传递警告消息，采用具有较好时延的单跳机制。快速警告提醒要求很高的PDR，因此可以采用一些提高PDR的手段：将一个提醒进行多次发送（重传）来防止传输失败（丢包）。发送方重传2次或者3次可以显著提高PDR。[18-20]指出，要求的PDR最低为95%。警告的多重发送（第2次或者第3次）必须在所谓的消息生存期（TTL）内进行。TTL代表警告消息的有效期，即从警告触发到警告失效（如碰撞不可避免或者不再发生）的时间。

传输类型：车—车和 / 或车—路。

应用类型：警告。

通信机制：单跳基于位置（提醒）。

各个单独的应用将在后续章节中描述。

2.1.6.1 合作式交叉路口碰撞警告

合作式交叉路口碰撞警告（CICW）是一种针对可能发生的交叉口碰撞警告驾驶人的系统。该系统基于路侧单元的警告来避免车辆碰撞。位于交叉路口的路侧单元既用于在车辆之间进行协调（在交叉路口辅助驾驶人操作），也用于防止车辆违反红灯或停车标志。路侧单元基于传输距离内的周围车辆发出的永久信标信息来判决是否发出警告。这里使用永久信标来触发警告，同时也用于了解在何处发送警告。这需要交叉路口的详细地图信息，包括：交叉路口方向、车道数目、所有车道的停车线位置等。路侧单元为接近的车辆监测连接点，在危险情况下（如左转的驾驶人无法看到其他接近的车辆）对驾驶人发出警告。当出现违反信号灯或停车标志时，路侧单元必须检测并对违规车辆发出警告，必要时也对其他车辆发出警告。这些违规车辆警告的发放是基于需要停车的车辆的行驶速度。基于车辆的位置和速度（包含在永久信标中），逻辑系统确定该车辆是否会在红灯或者停车标志下进入交叉路口。除了这些，也要对那些存在危险的左转车辆发送警告。此类事故占据所有交叉路口事故的1/3，引发的原因是安全间隔（对向驶来的车辆速度）判断错误或者

驾驶人视线不佳。

2.1.6.2 紧急电子制动灯

紧急电子制动灯（EEBL）是一种当车辆紧急制动时向后方车辆发出警告的系统。该警告的触发并非基于周围车辆发出的永久信标信息，但对于了解在哪里发送警告来说，永久信标信息也是必要的，但是需要避免虚假警告。

2.1.6.3 紧急车辆接近警告

紧急车辆接近警告（AEVW）是指当紧急车辆驶近其他车辆时，向行驶路径上的车辆发出警告，通知其离开道路并让出一些紧急走廊。正如[8]所指出的，在文献中这被称为蓝色走廊或者蓝波。这里，只要前进道路上有车辆，那么同样的消息将被重复多次发送。

2.1.6.4 火车碰撞警告

火车碰撞警告（RCW）是指穿过车辆道路的火车对周围车辆发送警告。这也可以扩展到火车之间的警告。此应用中，相同的消息在火车穿越车辆道路的过程中重复发送多次。

正常警告提醒是指，在一定时间窗口内以多跳方式发送给指定区域其他车辆的提醒，这种多跳方式的传播速度低于单跳方式（图2-25）。此类提醒宣告一个事件发生了（如事故）。这里也要使用永久信标来创建车辆或路侧单元的邻居列表。



图 2-25 正常警告提醒

必须满足如下需求：

- 一个地图数据库（包括车道几何）。
- 警告消息。

- 分析输入数据并进行驾驶人警告判断的逻辑系统。
- 将警告提醒发送给车辆。
- 人机接口（HMI），内置于车辆，包括视觉、听觉和触觉警告。

这种提醒与单跳提醒的主要区别在于需要一个路由转发算法，挑战在于选出最好的路由算法。目前存在多种路由算法（见第4章），但它们中的大多数都无法满足车用通信所要求的扩展性和可靠性（很多只在仿真中使用）。由于消息的生存时间（TTL）很长（可以达到数小时，甚至对于施工区来说是数天），此类应用并不需要很低的时延，最重要的是即使在很远的距离上，消息也要（以很高的PDR）抵达其目的地，而所需的时间长短则并不重要。此类应用组要求很高的PDR，为了提高PDR，可将一个提醒进行多次发送（重传）来防止传输失败（丢包）。发送方2次或者3次重传可以显著提高PDR。

传输类型：车—车和 / 或车—路。

应用类型：提醒。

通信机制：多跳基于位置。

各个单独的应用将在后续章节中描述。

2.1.6.5 慢速车辆警告

慢速车辆警告（SVW）是指慢速行驶车辆向后方附近车辆发送警告信息，告知其自身的慢速行驶行为，从而避免碰撞。

2.1.6.6 碰撞后警告

碰撞后警告（PCW）是指对交通流产生干扰或引发危险的无法移动的车辆（事故或者机械故障导致），发出警告用于避免碰撞。使用的具体广播机制将取决于具体场景，比如高速公路场景要使用基于位置的广播机制，因为仅需要通知后方车辆；而在通常道路场景要使用多播机制，因为车辆可能也会危及对向车辆。

2.1.6.7 前方交通拥塞警告

前方交通拥塞警告（TJAW）是指处于交通阻塞中的车辆发出警告，将阻塞末尾的位置告知驶进的车辆，以避免可能的碰撞。这一电子辅助系统把即将到来的形势通知驾驶人，使其可以在危险进入视线之前提前将车速降下来。

2.1.6.8 危险地点通知

危险地点通知（HLN）是指发送由车载传感器（如翻滚、使用气囊）或基础设施（路侧单元）所检测出的危险的警告。这些信息可能是在指定方向指定车道中的水或者油。有许多可能的危险类型，例如，事故可能引发车辆起火[8]，尤其是在危险区域（如隧道），一旦检测到高温，相关车辆必须尽快启动本地危险警告的广播。另一种可能发生的危险是湿滑路面。对路面附着力和湿滑程度的估计需要车速和车轮加速度等信息。车辆可能通过ESP检测到此种道路状况，并标记其位置（经度+纬度）为“危险”。该车相应地对该信息进行存储并转发给其他车辆。如果需

要，它将对驾驶人发出警告并建议适当的车速。路侧单元也可能对危险信息进行传播和重传。

2.1.6.9 施工区警告

施工区警告（WAW）是指发送道路施工、车道阻断的警告提醒，由基础设施（路侧单元）公布或由其他车辆分发。

2.1.6.10 限制驶入警告

限制驶入警告（LAW）是指使用基础设施发送警告提醒，告知驾驶人限制性驶入信息，如高度限制或桥上重量限制。

2.2 资源效率

资源效率领域解决的是交通拥堵和燃油消耗的问题。

早在 1993 年，就有研究评估车用网对交通效率产生的影响 [21]。最近，日本一项针对 telematics 用户的调查 [27] 表明，在先进 telematics 系统中，道路交通信息是最常使用和最有价值的信息。

然而我们为何需要交通效率？今天，几乎所有主要城市的驾驶人都面临相同的问题：天天头痛于交通拥堵。此外，交通拥堵不仅发生在各大城市，而且也发生在连接它们的高速公路或普通公路上，这已成为现代社会的一个主要问题。在欧洲，若干年以来约 7500km 或者 10% 的道路网络每天都受到堵车的影响（欧洲委员会，2001）[6]。交通拥堵既增加了空气污染，也加剧了每日的精神压力，从而降低生活质量。交通效率提升解决方案的重要方面是合作式车辆 - 高速公路系统，以及自动化车辆 - 高速公路系统。

仿真研究表明 [28]，车用通信可以减少振荡波数量从而提升交通流的稳定性。在沿道路分布的车辆构成的交通流中，当车流前方的交通条件发生变化时，如碰撞、流量突然增加或减少，就会产生振荡波。

资源效率类应用的分类如图 2-26 所示。其中，“交通利用率”代表提升道路交通流量的功能，例如堵车检测和避免，以合作式、连续驾驶手段缩短旅行时间。一般情况下，提供更好的交通利用率就会提供更低的燃油消耗，从而实现环境保护，而“环境保护”则代表节油驾驶、减少车辆一般性排放等手段。

2.2.1 自主系统

合作式队列（CP），是指车辆（通常是货车）编队行驶，其中头车由人驾驶，而其他车辆则通过电子控制既安全又紧密地跟随头车。在车辆间信息交换的条件下，该应用可提升道路的通行效率和出行可靠性。该应用关系到在仅头车有驾驶人的车队中如何精确控制车辆的位置、速度和加速度。该应用属于“交通利用率”以及“环境保护”这两个类别。

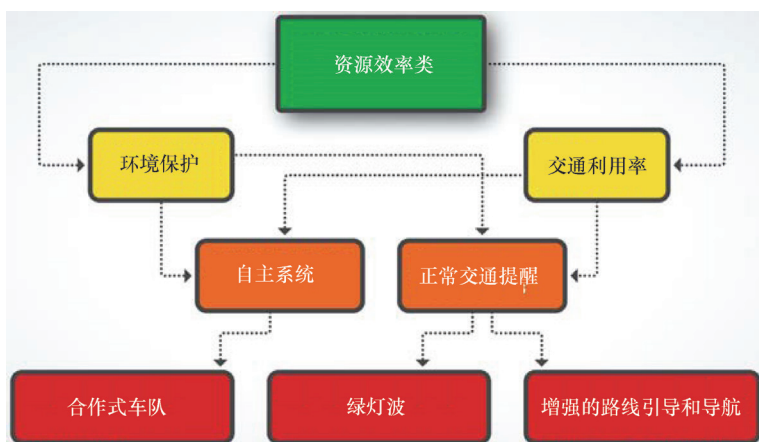


图 2-26 资源效率类应用

2.2.2 正常交通提醒

正常交通提醒的发送类似于安全领域的正常警告提醒，只是其中不包含警告，仅包含交通信息。它们的优先级低于正常警告提醒，但需要满足同样的需求：

通信类型：车辆至路侧。

通信机制：基于位置的多跳。

应用类型：交通利用率。

各个单独的应用将在后续章节中描述。

2.2.2.1 绿灯波

基础设施发送下一个交叉路口的位置及其绿灯信号时间窗的信息。基于该信息，车辆计算所需的车速从而在下一个交叉路口赶上绿灯，因此无须停车，这将带来更好的交通流和更低的燃油消耗，从而节省时间和金钱，这对商业 / 物流货车尤为有效。同时由于停车减少，驾驶顺畅程度也得到了提高。基于车用通信，最先进的交通控制管理系统可以帮助优化交通流。车辆与交通信号灯之间的通信可以根据需要产生灵活的绿灯波。为了使系统能够工作，交通信号灯必须发送其位置信息，以及各个方向的交通信号相位 / 时间信息。该应用也属于“环境保护”类别。

2.2.2.2 增强的路线引导和导航

增强的路径引导和导航应用的范围是重新路由到目的地的导航路线。它指的是基于交通中心提供的最新交通流信息而进行动态路由更新（至目的地的路径）的能力。车辆使用该信息来通知驾驶人关于预期延迟或由于交通状况可能存在更好的路由。市面上已经存在被称为交通信息频道（TMC）的服务，该服务基于 FM RDS 技术。连接到 TMC 的 GPS 导航系统能够重新计算路由从而避免拥塞。其他如“TomTom 实时交通”这样的使用互联网连接（GPRS）的服务也已经面世。基于

GPRS 系统的主要缺点是它的成本：首先，你必须支付互联网流量（给移动电话供应商）；而且，还有可能需要进行第二项签约（例如 TomTom 公司），以便接收交通流相关的信息。在现有系统中，交通中心提供的“实时更新”大约每 10~15min 进行一次，这是不够的。TMC 也需要 30s 才能将消息从交通中心传递给车辆。车用通信的优点在于信息传播的速度更快，而且来自其他车辆的知识可以更频繁地更新“实时”数据库。但其最重要的优点是（对于 FM RDS 技术是不可实现的）：在指定区域中（通过 geocasting 技术）可以对特定车辆投放不同的指令。否则，基于信息传播和车载智能，所有的车辆都将使用相同的新的“最佳”路线，从而造成新的堵塞现象。举一个具体的例子：当高速公路堵塞时，我们只需要对部分车辆发送新的路线，这也是为了避免造成新的堵塞。如果我们数据传输时能够寻址到特定区域内的车辆，问题就解决了。总结：为了避免拥堵，[29-31] 路边单元收集车辆的遥测数据（通过永久信标）。然后，该数据被发送到中央设施（车辆到后台）并进行分析。基于这些数据（交通流畅性），可以计算出最佳路径并用多跳传播发送给特定区域中的车辆。

2.3 信息娱乐

信息娱乐和高级驾驶人辅助服务（ADAS），涵盖了驾驶人和乘客的便捷出行所需的全部附加功能，见图 2-27。

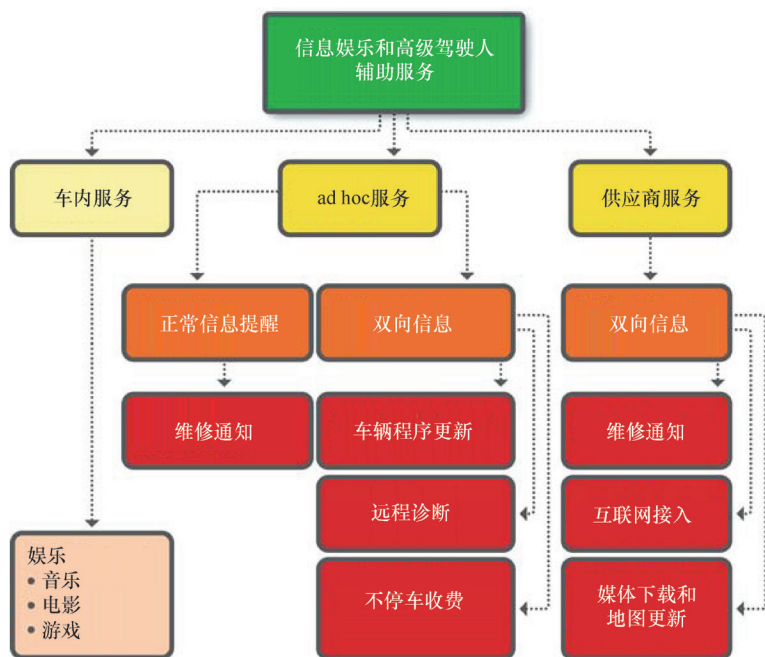


图 2-27 信息娱乐应用

车内服务，是指如车内娱乐（音乐、电影、游戏）的功能，由于其不使用车用通信，因此不进一步详述。

ad hoc 服务，是指为特定的时间内所建立的临时性功能，如自动收费。

供应商服务，是指互联网接入和其他供应商提供的服务，如服务需求通知。驾驶人和乘客都因此能够在行驶中浏览网页，网上购物，甚至参与视频会议。

2.3.1 ad hoc 服务

正常信息提醒的发送类似于安全领域的正常警告提醒，只是其中不包含警告，仅包含环境信息。它们的优先级低于正常交通提醒，但需要满足同样的需求：

通信类型：车辆至路侧。

应用类型：ad hoc 服务。

通信机制：基于位置的多跳。

双向信息发送类似于“自治系统”应用。系统采用双向通信机制（2.1.2 小节），只是其中的消息是非安全相关的，因此优先级较低，没有特殊的需求：

通信类型：车辆至路侧。

通信机制：双向。

ad hoc 服务中的各个单独的应用将在后续章节中描述。

2.3.1.1 兴趣点（PoI）通知

兴趣点（PoI）通知使用基础设施发送关于周围兴趣点的最新信息。

兴趣点通知，允许景点、住宿、商店、加油站以及其他兴趣点在车辆驾驶经过时展示自己。路边单元还可以播放更多的信息，如营业时间和定价。在餐馆这一特定场景中，还可以广播当日菜单。虽然此类 POI 已经存在于不同的导航软件中，但它们仅仅是以“静态”方式更新的。而在本应用的场景中，消费者受益于能从周围邻近的商户处得到最新的信息。

2.3.1.2 不停车收费

不停车收费是指无须停车而支付通行费或者停车费。这已经是一个相当成熟的技术，允许电子支付高速公路的通行费 [32]。车辆经过收费站时，与收费机构之间完成一次电子货币交易。电子收费（ETC）系统需要具备车辆检测、分类和执行技术。ETC 设备代替了收费员（或投币机）在收费站的手工收费过程。此外，它也应用于车辆在高速公路上以巡航速度行驶的情景。

2.3.1.3 远程诊断

远程诊断允许服务站利用车用通信来评估车辆的状态。该服务站可以向车辆查询信息，以支持对客户所报告的问题的诊断。它也可以从数据库中取回车辆的历史信息。根据请求，系统还可以更新已安装软件。该应用可以减少车辆修理所需的时间和成本。

2.3.2 供应商服务

供应商服务（进一步使用车辆到后台的通信）中的各个应用如下。

2.3.2.1 互联网接入

互联网接入允许汽车连接到互联网。用户可以执行车内基于互联网的应用程序，如浏览网页或电子邮件。OBU（车载单元）也可以提供车辆与其他设备之间的信息交换 [9]，如通过 WiFi 或蓝牙方式，与笔记本电脑、智能手机或 PDA 连接。这里使用已有设备是一个优点，因为用户习惯于这些设备并且可以访问其个人设置。从供应商方面，除了硬件销售的一次性利润外，以签约方式或按需方式对互联网接入收费，则是另一项长期性利润。此外，还可能为用户提供基于互联网或者独立于互联网的一些其他应用。列举一些例子：“多媒体下载”应用，可以下载音频、视频数据 and 应用程序；“地图下载和更新”应用。

2.3.2.2 维修通知

维修通知是指发送车载诊断到服务中心，并在驾驶人请求下发送建议和附近的服务点位置。

2.3.2.3 车队管理

车队管理是指通过发送和接收车辆状态信息、向车辆传输任务数据并反馈任务状态等手段管理车队。这通常用于商用货车但并不限于此，目标是通过提高效率和生产力，来降低整体运输成本。车队管理的主要功能包括车辆跟踪和诊断以及驾驶人和燃料管理。

2.4 应用需求总结

为了支持上述基于通信的应用，需要定义这些应用所需的通信机制，这将在下一章进行描述。

然而在此之前，为了给每个应用定义明确的需求，我们给出了所有上述应用及其需求，见表 2-3。

表 2-3 应用需求

应 用	通信 机制	消息 类型	时间紧 急程度	传输 类型	应用类型	优先级	PDR (%)	时延 /ms	传感器 融合	HMI	地图 数据
合作式减少眩光	SH	信标	RT	V2V	预防式	0	>95	<100	是	否	是
合作式自适应巡航控制	SH	信标	RT	V2V	预防式，交通和环境	0	>99	<100	是，作为备份	否	是
预碰撞感知	SH, FB	信标	RT	V2V	预防式	0	>99	<100	是	否	否
合作式合流辅助	SH, B	信标，正常	RT	V2V	预防式和交通	0	>99	<100	是，作为备份	否	是

(续)

应 用	通信 机制	消息 类型	时间紧 急程度	传输 类型	应用类型	优先级	PDR (%)	时延 /ms	传感器 融合	HMI	地图 数据
合作式车队	SH, B	信标, 正常	RT	V2V	交通	0	>99	<100	是	否	是
合作式前向碰撞警告	SH	信标	RT	V2V	预防式	0	>95	<100	是, 作为 备份	是	是
车道变换辅助	SH	信标	RT	V2V	预防式	0	>95	<100	是, 作为 备份	是	是
错向行驶警告	SH	信标	RT	V2V	预防式	0	>95	<100	是, 作为 备份	是	是
合作式交叉路口碰撞警告	SH	信标, 提示	RT	V2V, V2R	警告	1	>95	<200	否	是	是
紧急电子制动灯	SH	信标, 提示	RT	V2V	警告	1	>95	<200	否	是	是
紧急车辆接近警告	SH	信标	TTL	V2V	警告	1	>95	<200	否	是	是
火车碰撞警告	SH	信标	TTL	V2V	警告	1	>95	<200	否	是	否
慢速车辆警告	MH	信标	TTL	V2V	警告	2	>95	<200	否	是	是
碰撞后警告	MH	提示	TTL	V2V	警告	2	>95	<400	否	是	是
前方交通拥塞警告	MH	提示	TTL	V2V	警告	2	>95	<400	否	是	是
危险地点通知	MH	提示	TTL	V2V, V2R	警告	2	>95	<400	否	是	是
施工区警告	MH	提示	TTL	V2V, V2R	警告	2	>95	<400	否	是	是
限制驶入警告	MH	提示	TTL	V2R	警告	2	>95	<400	否	是	是
绿灯波	MH	提示	TTL	V2R	交通和环境	3	>95	<400	否	否	是
增强的路线引导和导航	MH	信标, 提示	TTL	V2R, V2B	交通	3	>95	<400	否	是	是
兴趣点通知	MH	提示	TTL	V2R	ad hoc	4	>95	<400	否	是	否
不停车收费	B	正常	TTL	V2R	ad hoc	4	>95	<400	否	是	否
远程诊断	B	正常	TTL	V2R	ad hoc	4	>95	<400	否	是	否
互联网接入	B	正常	TTL	V2R, V2B	供应商	4	>95	<400	否	是	否
维修通知	B	正常	TTL	V2R, V2B	供应商	4	>95	<400	否	是	否
车队管理	B	正常	TTL	V2R, V2B	供应商	4	>95	<400	否	是	否

缩写: B- 双向; FB- 快速双向; SH- 基于位置的单跳; MH- 基于位置的多跳; RT- 实时; TTL- 有效时间 (时间约束); 优先级 -0 最高、4 最低; HMI- 人机界面 (听觉、视觉、触觉); 正常 (Normal) - 双向通信交换的信息。

参考文献

1. <http://www.ami-c.org/>
2. World report on road traffic injury prevention, World Health Organization, 2004
3. <http://www.bicyclesource.com/body/safety/collision-types-occurrence.shtml>
4. K. Langwieder, Car crash collision types and passenger injuries in dependency upon car construction (field studies of the German Automobile Insurance Companies)
5. "Road traffic accident", March 2007, http://en.wikipedia.org/wiki/Road_traffic_accident
6. http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/road_safety_observatory/care_en.htm
7. L. Andreone and M. Provera, Inter-vehicle communication and cooperative systems: local dynamic safety information distributed among the infrastructure and the vehicles as "virtual sensors" to enhance road safety, <http://www.car-to-car.org>
8. G. Segarra, Activities and applications of the car 2 car communication: the renault vision, <http://www.car-to-car.org>
9. K. Matheus, R. Morich, I. Paulus, C. Menig, A. Lübke, B. Rech, and W. Specks, car-to-car communication – market introduction and success factors, Germany
10. <http://www.stvincent.ac.uk/Resources/Physics/Speed/speed/index.html>
11. <http://www.ae-plus.com/Key%20topics/kt-brakes-news6.htm>, Brakes & Steering, August 2005
12. <http://www.carsense.org/>
13. A. Hoess, Multifunctional automotive radar network (RadarNet) final report, RadarNet consortium, 2004
14. <http://homesteadschools.com/traffic/course/>
15. <http://www.argo.ce.unipr.it>
16. "EUREKA Prometheus Project", March 2008, http://en.wikipedia.org/wiki/EUREKA_Prometheus_Project
17. DARPA Urban challenge 2007, <http://www.darpa.mil/grandchallenge/>, accessed March 2008
18. M. Torrent-Moreno, F. Schmidt-Eisenlohr, H. Füßler, and H. Hartenstein, Packet forwarding in VANETs, the complete set of results, Karlsruhe, 2006
19. S. Yousefi, A. Benslimane, and M. Fathy, Performance of beacon safety message dissemination in vehicular ad hoc network
20. X. Ma and X. Chen, Performance analysis and enhancement of safety applications in DSRC vehicular ad hoc networks, 2007
21. P. Varaiya, Smart cars on smart roads: problems of control. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 38, No. 2, pp. 195–207, February 1993
22. P. Varaiya, V2V (vehicle to vehicle) and V2I (vehicle to infrastructure) communication: does the technology match the problem? In Proceedings of ESCAR 2006 Conference Programm, Berlin, November 2006
23. A. Vahidi and A. Eskandarian, Research advances in intelligent collision avoidance and adaptive cruise control. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 143–153, September 2003
24. B. van Arem, C.J.G. van Driel, and R. Visser, The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics, 2006
25. <http://www.cartalk2000.net/>
26. <http://www.ertico.com>
27. M. Matsumoto, Japanese new challenge for mobile office services in the DSRC. The fully networked car workshop, Geneva, Italy, March 2007
28. K.M. Malone and B. Van Arem, Traffic effects of inter-vehicle communication applications in CarTALK 2000. Paper presented at the 11th World Congress on ITS, Nagoya, Japan, 2004
29. <http://www.tmcforum.com>
30. <http://www.tomtom.com/>
31. Car2Car Communication Consortium – Application Working Group, 2006, www.car-to-car.org
32. G.S. Bickel, Inter/intra-vehicle wireless communication, 2006

第3章 通信机制

与应用领域同等重要的是车用通信机制。这些机制的划分是多方面的。我们可以按照技术的要求（如发送机制：双向的和以位置为基础）划分，也可以按照应用类型划分（见图3-1）（如发送类型：车内、车车之间，车路之间，车与后台之间）。

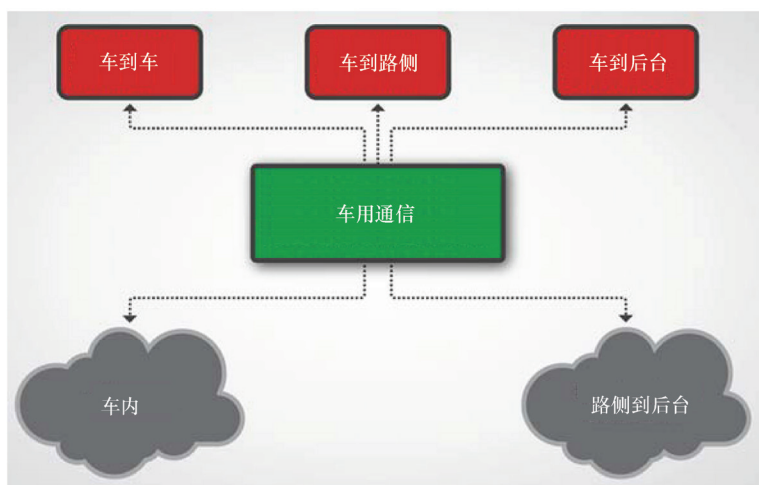


图 3-1 车辆发送类型

车内通信指车内不同的电子单元（如传感器和执行器）之间通信。车内的通信是有线的，并且存在几种网络类型以匹配不同的车内应用。所以对于要求不严格的应用，如控制座位或顶棚的车内通信采用了一种低成本、短距、低速的网络，如 LIN 网络（Local Interconnect Network，本地互连网络）。为传感器和执行器之间提供快速而可靠的链路是最通用的车内网络 CAN（Controller Area Network，控制器局域网）[1 - 3]。这个总线支持汽车的严格或非严格的应用，如主动安全应用（ABS、ESP、停车辅助）。

对于特殊应用的总线可采用 FlexRay 和 MOST。FlexRay[4 - 6] 是特别用于高速控制的应用，如动力总成（发动机控制），线控（制动反馈，节气门），也支持主动安

全系统（如 ESP）。MOST [1, 7, 8] 是一个多媒体光纤网络，为简单的多媒体应用（如传声器和扬声器）提供高速数据传输和低成本接口，也可以提供更复杂的应用。

车与后台的通信指车与路侧基础设施之间通过已有的通信标准通信，如 GSM 或 UMTS。在一些文献中已经说明这种通信制式不适用于主动安全应用，可用于信息娱乐（即互联网接入）和特殊的交通应用（增强的路线指导和导航）。

路侧与后台之间通信是指路侧单元和所谓的后台之间交换信息，也可以使用无线路侧基础设施，如 GSM、UMTS，但也可以使用有线网络。

卫星与车辆之间通信实际是车辆定位业务，可以使用基于卫星系统如全球定位系统（GPS）或者将来的伽利略系统。但是单独的 GPS 不能提供足够的精度和足够的频率更新，因此需要进一步的研究。

上述提到用于发送类型的经典技术已经在文献中被记录了。因此本书不再进一步赘述。

本书将详细研究剩下的两类发送类型：车车之间（V2V）和车与路侧基础设施（V2R）通信。为了满足之前提到的三种应用领域的特性，这两种类型的通信既是双向的，同时也是基于位置的机制。

一些特性如合作式编队、收费或远程诊断需要双向通信，但其他的如合作式前向碰撞警告、合作式自适应巡航控制，或危险位置提示需要基于位置的通信。特殊的功能，如合作式合流辅助，两种通信都要求。

基于位置的通信对于一些特性是一种必须要有的要求，因为这些特性需要对某个特定的地理位置车辆进行寻址。

3.1 双向通信机制

双向通信也即单播通信，使得两车之间或车与路侧能够双向交互信息（图 3-2），路侧站可以被当作一个固定位置的车辆。这也意味着对于每一个发送的信息，期望从接收方得到相应的反馈，这样确定消息没有丢失。因此，通过这种方式提供更高的可靠性。

双向通信实施包含四个阶段。在发现阶段，一辆车搜索周围的节点（另一辆车或路侧单元）。在连接阶段，一辆车发起与另一辆车或路侧单元初始连接。另一辆车或路侧单元按照一套规则，允许或拒绝连接。在数据发送阶段，通信双方保持开放的连接进行信息交互。在结束阶段，其中一方决定结束连接并且通信双方停止信息交互。

在上述过程中有些要求（如开放不同通信信道）必须对应用层是透明的并且能被底层通信层处理。

发起者需要：

- 执行发现过程。

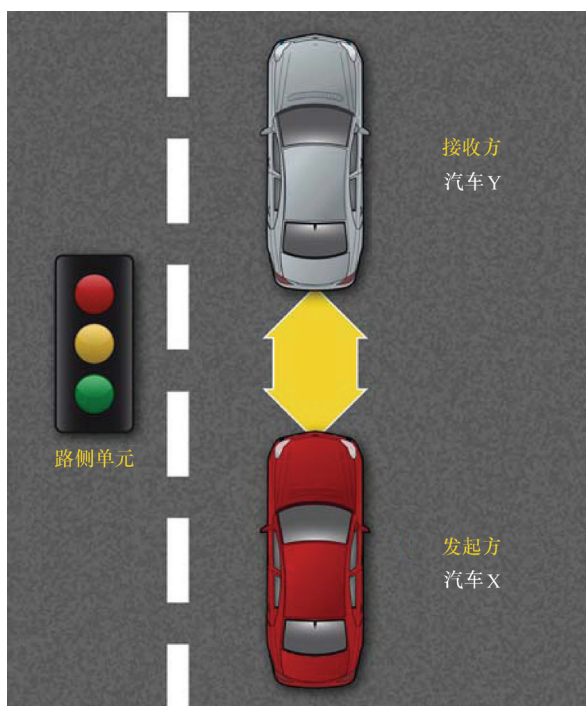


图 3-2 双向通信的例子

- 确定和选择适合特定业务的车辆或路侧单元。
- 发送连接请求给响应者。
- 在合适的时间，执行双方之间的单播、双向通信交换信息。

响应者需要：

- 回复所有的连接请求（接受或拒绝）。
- 鉴权和检查来自车辆信息的可信性。
- 在合适的时间，执行双方之间的单播、双向通信交换信息。

发起者和响应者都可以在任何时候结束连接。

当与路侧单元连接时，可能有一些消息需要路由到后台（即互联网接入）的特殊功能。但是这种发送实际上是可以由常规的陆地通信线路实现的，本书中不再涉及。

双向通信对两个特殊的车辆（或者车辆和路侧单元）能够按需预约双向的信息交互。这种信息交互总是能够得到另一方的响应，所以没有信息丢失。这样，可以说这种通信为双方提供了互动的益处。

但是由于双向信息交换以及在消息发送后要等待反馈，导致了时延的产生。如果消息发送给更多的车辆，则导致更长的时延和更高的网络负荷。因此这种通信不适合某些应用，但是对于另一些应用却是必需的。

3.2 基于位置的通信机制

基于位置的通信机制是一种特殊的机制，在该机制中信息同时传播给一个特定地理区域的一组车辆。在一些特定的文献中也叫地理位置广播（图 3-3）。

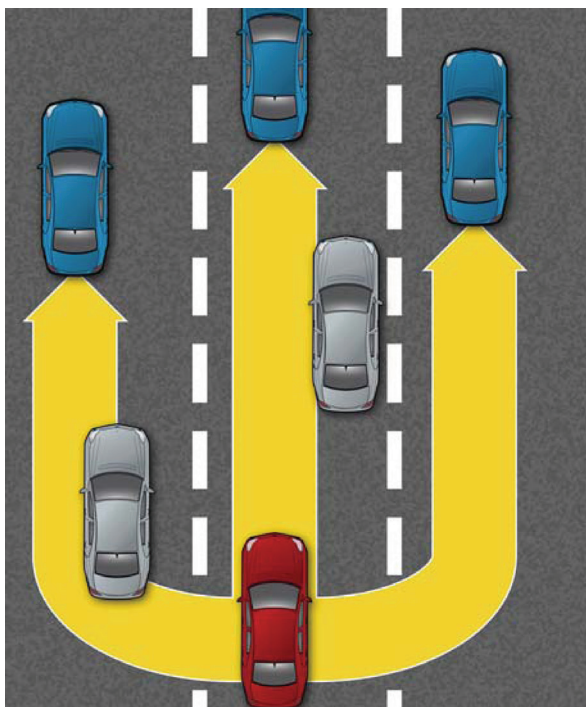


图 3-3 地理位置广播

信息只被网络中的车辆或路侧单元执行单向分发，其中路侧可看成一个固定位置的车辆。

基于位置的通信实现包含两个阶段。发现阶段是指在一个特定的地理区域，其中的一辆车或路侧单元决定发送信息给该区域内的其他车辆。位置更新是维持周边节点的实时位置信息。泛洪是参与者传递带标签的信息的阶段（在理想的位置区域）。接收到信息的车辆检查标签并且根据标签确定是保留该消息还是丢弃（图 3-4）。

通信机制的实施如下。

发送者需要：

- 获得信息（可能是本地的车辆的遥感勘测的数据如位置、速度或者其他某一个确定时段存储的信息）。
- 将信息数据打包成一条消息。
- 使用地理广播机制将消息发送给周围的车辆。

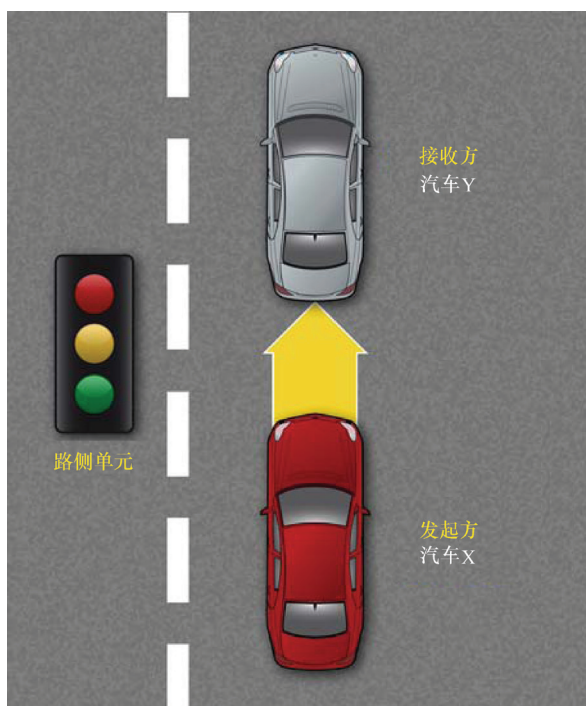


图 3-4 基于位置通信的例子

接收者需要：

- 获取发送者的消息。
- 将消息解码成本地车辆数据。
- 通过比较本地的传感器数据，检查其他车辆传输的消息的可信性。

这种机制最重要的好处是将消息发送给特定区域的车辆，而这是一些应用所必需的特性。这种机制能够将消息快速地传递给很多车辆，并且能够减少网络负荷以及减少信息分发的时间。不足之处在于只能单向发送，这意味着双方没有交互，不能确认对方是否成功接收。

3.3 基于位置的多跳通信机制

如果消息需要在链路中从一辆车传送给另一辆车并持续传递下去，怎么办呢？那么消息需要经过多跳到达最终目标（图 3-5）。为了这样做，要求一种所谓去发现下一个相邻跳节点的路由算法。

在基于位置的机制中，路由要求本地化机制（每一个参与者的物理位置）。路由需要达到两件事，一件事是决定目标的位置（实际匹配一辆车与它的地理位置），另一件是在下一相邻跳中选择一个相邻的节点将消息传递出去。

所以，我们可以下结论说按照通信的需求，我们有三种通信机制：

- 双向（经典或快速，更多信息可参见第6章）。
- 基于位置的单跳（伴随着单方向的永久信标或警告）。
- 基于位置的多跳（伴随着警告）。

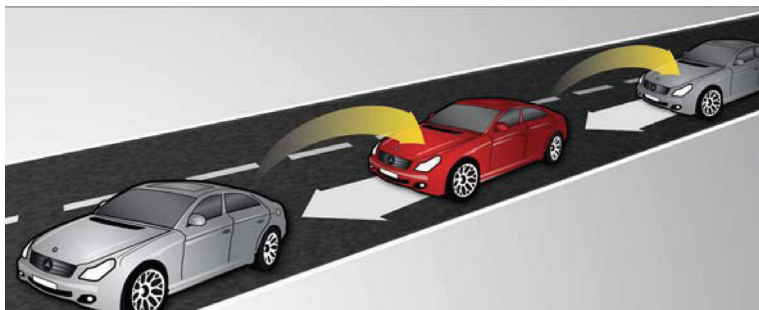


图 3-5 多跳

参考文献

1. <http://www.epanorama.net>
2. D. Marsh, CANbus networks break into mainstream use, Europe: EDN, 2002, <http://www.edn.com>
3. <http://www.can-cia.org>
4. “FlexRay”, December 2006, <http://en.wikipedia.org/wiki/FlexRay>
5. <http://www.flexray.de>
6. FlexRay, Communications system protocol specification version 2.1 revision A, FlexRay consortium, December 2005
7. <http://www.mostcooperation.com/>
8. MOST Cooperation, MOST specification revision 2.4, 2005

第 4 章 车联网中的信息

我们将需要的信息划分为三类：一类是所有应用的公共信息，另外两类是永久信标和警告特殊信息。请注意永久信标实际上是周期性的，但是是高频率的，我们称之为永久性是为了区分于警告（更多信息可参见第 6 章）。

需要在车载网络发送的公共信息（封装为包头）包含：

- 带时间戳的 msgID。
- nodeID，表明一个唯一的 ID，可能是一个 IP。
- ownNodeType 表明是车辆或者路侧单元。

需要在车联网通过永久信标发送的信息包含：

- 遥测的数据：周围所有车辆的位置（包含当前车道）、速度、加速度、方向和偏航角，同时包含车辆自身的信息（发现和位置更新）。
- 位置可信度：该参数可能受定位信号强度的影响。
- 车辆内部参数：如转向信号状态（左转、右转或者无信号），ABS、ESP 状态（指示湿滑路段），制动响应时间（基于车辆重量、轮胎条件）。

除了以上的永久消息，还会发送警告信息，附加如下信息：

- 湿滑的路段区域。
- 风向和速度方向。
- 一些其他的交通相关的通知，例如危险或施工区域。
- 信息的优先级。
- 信息的生存期（TTL）表明警告激活的时间帧。
- 发送者设置信息的可靠性。

另外，一些应用要求通信信息中包含数字地图，以提供道路几何，如车道数和海拔。

为了表述上述信息，我们要求使用矢量。例如速度矢量要求附加两个字节存储节点速度和方向的信息。第一个字节编码为方向，范围为 $0 \sim 127$ (7bit)，其中 MSB 指示速度矢量信息是否可获得。第二个字节存储速度，单位为 km/h。但是这样将限制了最大速度范围为 $0 \sim 255$ 。

对于永久信标，位置服务的采样频率必须比消息发送的频率要短，否则会出现数据不匹配的可能。数据发送的频率应为 $2 \sim 20\text{Hz}$ （即 $50 \sim 500\text{ms}$ ）[1-3]，然而 GPS 的采样频率是 1Hz ，这样普通的 GPS 系统不适合。

对于警告类型的消息不需要高频率，大概在 $2 \sim 30\text{s}$ ，取决于警告的类型（在弯路之后的车辆发送的消息更新的频率比交通信息要高就够了）。警告类型是事件型，它们在一段时间内有效，该段时间也即生存期（TTL）。

4.1 信息精度

位置、速度、加速度、方向，偏航率、倾斜角度、倾斜率、摆动角度、摆动率这些参数可能是由集成的惯导和 GPS 导航系统（如 RT3002 使用 RTK 能够达到 2cm 的精度）感知。如果仅通过 GPS 设备获得车辆精确的相对位置（包含驾驶道路）[4-7]，需要通过路侧基础网络的差分或者 RTK GPS/GLONASS 校准服务（或者是将来的伽利略系统）。当前，可以使用 GPS/UMTS 网络，但是需要注册 / 付费。它们可以提供双向通信的可能性（校准只是由一小部分数据组成，这样可以减少通过 GPRS 网络传输的信息数量）。当前，实时的 DGPS 精度可以达到 20cm ，RTK（Real-time Kinematic）可以达到 1cm 以下的精度。DGPS 通常的精度为 $1 \sim 5\text{m}$ （例如通过使用离柏林最近的固定基站：在易北河的 MAUKEN），但是如果使用特殊类型的基站（如 Trimble Pro XR）在最少为 5min 内能够达到 30cm 的精度，在最少为 45min 内能够达到 1cm 的精度。使用 RTK，需要把一个基站放置在一个已知可测量的点上，并且在该基站的 50km 范围内有一个或多个移动接收机。

一个重要的要求是实时地更新附近的节点信息。否则，由于相邻节点过时的信息采取的行动可能导致不好的后果（如事故）。一个关键的因素是车辆的逻辑，也是所谓的车载“智能”[8,9]。接收者基于从发送者收到的消息（例如：制动），它将随着执行相关动作（例如：也制动）。

4.2 时间敏感信息

我们认为在车用通信中所有应用（可能除了信息娱乐的一些应用）的信息的时间都是至关重要的。时间决定了信息是否有意义。这就是我们为什么举两个具体的例子来说明时间是至关重要的。最明显的例子是当一辆车不得不制动或者超车（在每条路一条车道的区域）时。我们根据路面条件、外部因素、车辆技术状况和车重显示制动的信息。我们指出，如果信息没有在正确的时间被发送，那就没有再发送的必要了。也就是说，如果消息没有实时或者在有限的时间发送，我们认为被发送的信息是无用的。

在 4.5 节，我们定义了时间区域，这在基于车用通信的一个高级防碰撞系统中

是关键。我们按照障碍物的类型提出了每个区域的时间限制表。我们认为基于通信的防碰撞系统必须根据制动和机动规避方面提供更好的反应时间（更快的响应时间）。我们也认为高级碰撞避免系统对车用通信和传感器都是需要的，这两种互相联系并且互为补充。

4.3 制动时间与距离

一辆车停止的距离主要受道路的摩擦系数影响。摩擦系数（ μ ）的经验值如文献 [10, 11]（图 4-1）中所示。

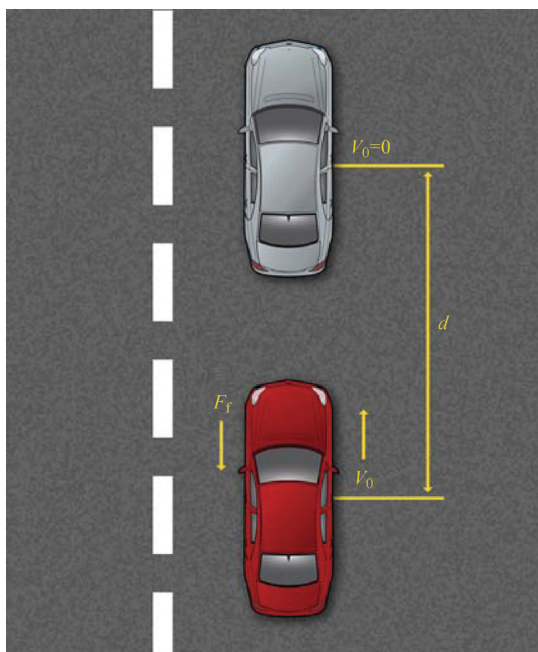


图 4-1 全力制动时停止的距离

- 干燥的沥青路面：0.8 ~ 1.2。
- 潮湿的沥青路面：0.5 ~ 0.8。
- 积雪路面：0.1 ~ 0.3。
- 冰面：0.03 ~ 0.15。

为了使一辆车停止，其动能必须减小到零或者动能必须等于摩擦力消耗的能量 [12, 13]；

$$F_f \cdot d = \mu \cdot m \cdot g \cdot d = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 \quad (1) \text{ 摩擦力}$$

停止的距离为

$$d = \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (2) \text{ 停止的距离}$$

上述的公式假设减速度 μg 保持了一个恒定值（如果 $\mu = 1$ ，减速度为 9.8m/s^2 ）。这个减速度值只能由专业的驾驶人在封闭的道路环境下得到。一个有经验的驾驶人在不失控的情况下，减速度也只可能达到 6m/s^2 。

$$v^2 = v_0^2 + 2a(d-d_0) \quad (3) \text{ 伽利略公式}$$

$$v = v_0 + at \quad (4) \text{ 速度公式}$$

基于 (4) (3) (2)，停止时间为

$$t = \frac{v_0}{\mu g} \quad (5) \text{ 停止时间}$$

恒定速度（无制动）下的距离是

$$d_2 = v_0 t \quad (6) \text{ 无制动下的距离}$$

路径

不同摩擦系数下理论上停止的距离和时间如图 4-2 和图 4-3 所示。这些值没有考虑车辆重量、接触面（轮胎宽度）和制动响应时间（人类响应时延）。

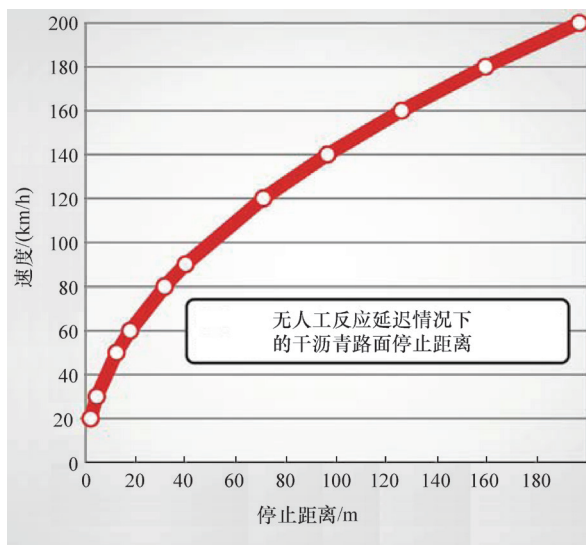


图 4-2 干沥青路面的停止距离 ($\mu = 0.8$)

在潮湿的路面，停止时间会增加（如图 4-4 和图 4-5 所示）。但是因为路滑，速度在这些环境下是必须被限制（通过外部的传感器）到最大速度为 160km/h （国外限速与国内情况不同，译者注）或者更低。

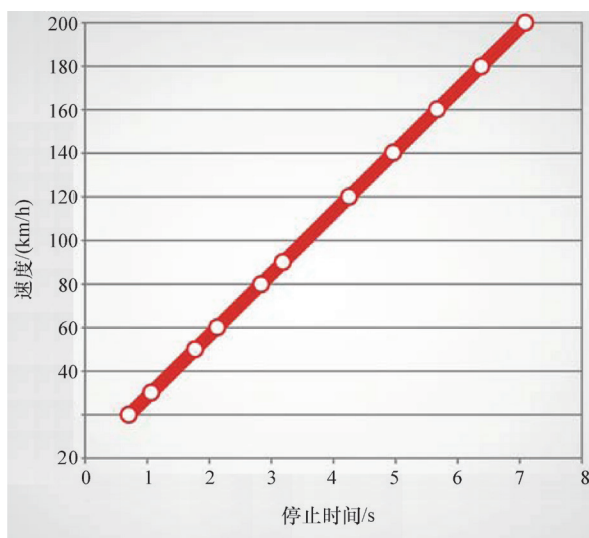


图 4-3 干燥沥青路面的停止时间 ($\mu = 0.8$)

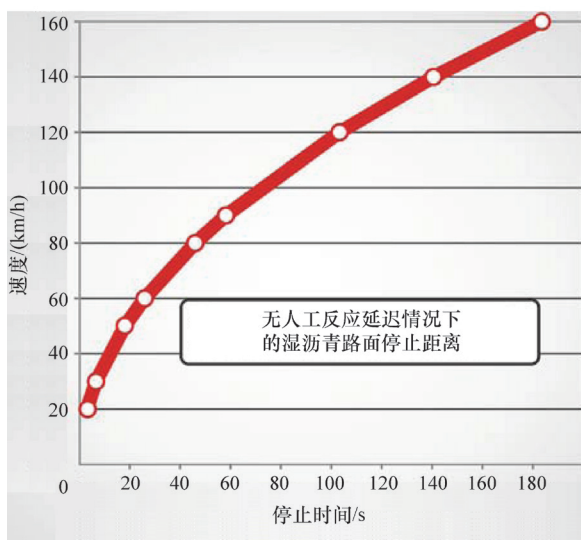


图 4-4 潮湿沥青路面的停止距离 ($\mu = 0.5$)

从速度 $v > 90\text{km/h}$ (使用新轮胎) 起, 水滑 [14,10] 现象不能被忽略。这个现象表明在轮胎和道路表面形成了水膜。为了让轮胎和路面接触面的水有足够的时间被挤压出去, 下面的公式必须满足:

$$v < \left(\frac{\sigma}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7) \text{ 水滑速度}$$

式中 v ——水滑速度；

σ ——轮胎和路面接触面之间的垂直压力；

ρ ——水的密度。

在雪面的制动时间急剧增加。这种效果甚至比冰面上更加糟糕。在雪面上，速度限制在 80km/h 或更低。从图 4-5 中可看到（图 4-6 和图 4-7），甚至防碰撞系统中的红色区域应扩展到 30s，黄色区域扩展到 45s。

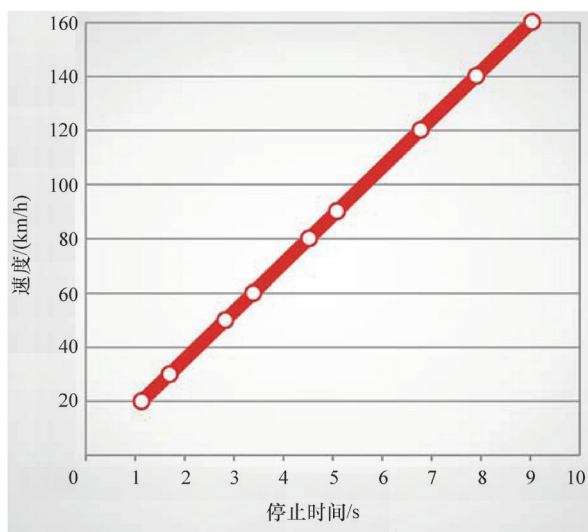


图 4-5 潮湿沥青路面的停止时间 ($\mu = 0.5$)

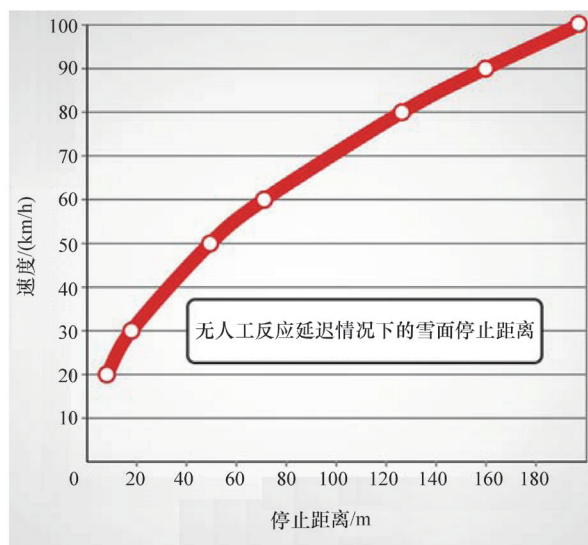


图 4-6 雪面停止距离 ($\mu = 0.2$)

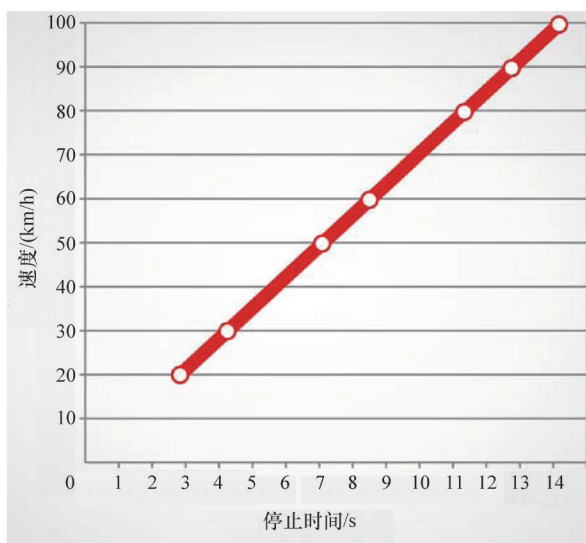


图 4-7 雪面停止时间 ($\mu = 0.2$)

除了摩擦力系数，其他的参数也影响制动距离 [12, 15]：

- 防抱死制动系统 (ABS)。如果车轮被抱死并在路面上滑动，制动力就仅是动摩擦力。否则，如果在制动时，车轮继续转动，那么静摩擦力在起作用。在抱死车轮和不抱死车轮的对比测试中，在干燥的平面水泥地 ($\mu = 0.8$) 和使用新的轮胎时，车辆停止的距离几乎相同，但是湿滑路面上动摩擦系数明显更小。在 18 种制动情况下分析 9 种车辆模型后，发现结果和 [16] 一样，有 ABS 的车辆停止的距离比无 ABS 的要短，除了一个例外情况，即在松散的砂砾层，ABS 停止的距离增加了 27%。相同的结论也能在芬兰的“Tekniikan Maailma”汽车杂志和英国“Evo”和“Autocar”汽车杂志中看到。结果表明，在雪面或碎石上，车轮抱死能减小制动距离！按照芬兰汽车杂志中给出的数据，以 80km/h 速度，有 ABS 汽车的制动距离比无 ABS 汽车的制动距离长 20%（冰面上要长 58%）。
- 电子稳定程序 (ESP) [17-19]。通过横向加速度、旋转（偏航率）和各车轮转速等参数，对驾驶人在转向和制动输入的期望指令与车辆的响应进行比较。ESP 能够单独制动前面或后面的车轮并且 / 或者减少过度的发动机功率以帮助纠正转向不足或者是转向过度。正如 [19] 表明，大陆戴维斯发布 ESP II——第一家通过引入主动转向控制功能 (ASC) 实现转向干预的电子稳定控制，从而在制动力控制上更进一步和更精确。ASC 通过阻止行驶的车轮在湿滑路面滑转，从而在加速时提高了驱动能力。而且通过抑制紧急机动规避或其他突然转向导致的打滑，增强了车辆的稳定性。

- 轮胎条件 / 宽度 / 压力。根据 [10]，旧的轮胎（到轮胎花纹深度 1.6mm）比新的轮胎在干燥的沥青地面上有更好的静态摩擦系数（是 0.95 而不是 0.8）。在湿滑或下雪的情况下，情况则相反。
- 车辆重量（有负荷 / 无负荷）。按照表 4-3，当车满载时，制动距离最大能增加 20%（只有一个例外是 35%）。对于货车也是相同的值（35%）[20]。
- 直路 / 弯路。如表 4-3 所示，在弯曲的、干燥的沥青路上，制动距离和湿滑笔直的沥青路一样不好甚至更差（在个别的情况下增加到 60%）。在弯曲的、湿滑的沥青路上，出现了横向加速度 [21]。
- 制动反应时间：一个驾驶人识别和反应时间可能为 1 ~ 2s 甚至 3s [12]，而防碰撞系统可能是毫秒级。
- 车辆制动系统（在所有车轮上采用盘式制动系统与在两个车轮上采用盘式制动系统，液压制动系统与电子制动系统等）
- 悬架系统 [21]。
- 风速 / 风向。

因此，不同厂商的汽车 / 车型在制动距离上可能会不同（理论上 $\pm 18\%$ ）[15]，见表 4-1。

表 4-1 干燥沥青路面上的制动距离

车型	制动距离（自 120km/h 制动）
Ferrari 550 Maranello	59.7 m
Mercedes SLK230 Kompressor	62.7 m
BMW Z3 (2.8)	64.5 m
Saab 9000 Aero	66.3 m
Porsche 911 Carrera 4	66.9 m
Nissan 200 SX	68.4 m
Theoretical value (calculated above)	70.9 m
Nissan maxima	72.9 m
Lexus ES300	73.8 m
Honda Integra GS-R	74.4 m
Mazda MX-5	76.8 m
Audi A4	80.7 m
Toyota Camry V6	82.2 m
Toyota Corolla	95.7 m

另外值得注意的是制动距离的理论值在实际外场测试中得到了验证，见表 4-2。

表 4-2 制动距离

理论值（计算值）	$\frac{31.5\text{m}}{(\mu=0.8)}$	$\frac{84\text{m}}{(\mu=0.3)}$
带未镶钉轮胎的 VW Golf V（根据“Tekniikan Maaailma”汽车杂志）	32m	64m

正如在 [16, 20] 中表明的一样，九种不同的带 ABS 的汽车车型在不同条件下的制动距离见表 4-3。

表 4-3 带 ABS 车辆的制动距离

车型	制动距离 /m									
道路线型	直线								曲线 (半径 91.4m)	
	自 97 km/h		自 64 km/h		自 80 km/h		自 56 km/h		自 80 km/h	
路面类型	干混凝土		湿混凝土		湿沥青路		松砾石路		干沥青路	
负载	轻载	满载	轻载	满载	轻载	满载	轻载	满载	轻载	满载
年份：1995，4 传感器 4 通道	42	48	23	25.5	30	33	32.5	30	33.5	46
年份：1994，4 传感器 4 通道	44	53	23	25.5	31	36	30	27	35	37.5
年份：1997，4 传感器 4 通道	42	48	25	27	31	35	30	30	35	35.5
年份：1996，4 传感器 3 通道	44	49	25	27	34	34	28	31	36.5	38.5
年份：1996，4 传感器 3 通道	43	43.5	32	30	35	36	32	33	35	37
年份：1997，3 传感器 3 通道	44	48	25	25	32.5	36.5	n/a	34	53	59
4 × 2 货车	55	74	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
6 × 4 货车	55	74	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

一般在满载下制动距离会增加，特别是货车 [20]。

因为很难找到影响制动的所有参数，所以需要引入错误概率：即如果计算制动距离时是 x 秒，则可考虑为 $k \cdot x$ ，其中 k 是可置信因子，该值可取 $1.1 \sim 1.3$ 。一个基于最后制动的“后备”系统可以被考虑，即：如果车辆最后一次制动使用强度为“ x ”%，减少速度为“ y ”，那么制动距离（时间）据此计算。

4.4 超车时间与距离

在超车操作过程中，行驶的距离如下（图 4-8）：

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

(8) 超车行驶距离

式中 s ——超车行驶距离

$$a = \frac{v_f - v_0}{t}$$

a ——平均加速度（可由加速器决定）；

v_0 ——超车之前的初始速度；

v_f ——超车后的结束速度；

t ——完成加速的时间。

以上假设加速度是恒定的。但实际中是可变的，为了预测这种加速度，可以使用下面的方法：

从之前测试（可由加速器决定）的数据和汽车厂商的规范中的数据库获得。表 4-4 给出 2000 年第 11 月份的“Car and Driver”汽车杂志中标明的一个例子，其中时间和速度是外场测试数据，其他的值都是使用上面的公式计算得来的。

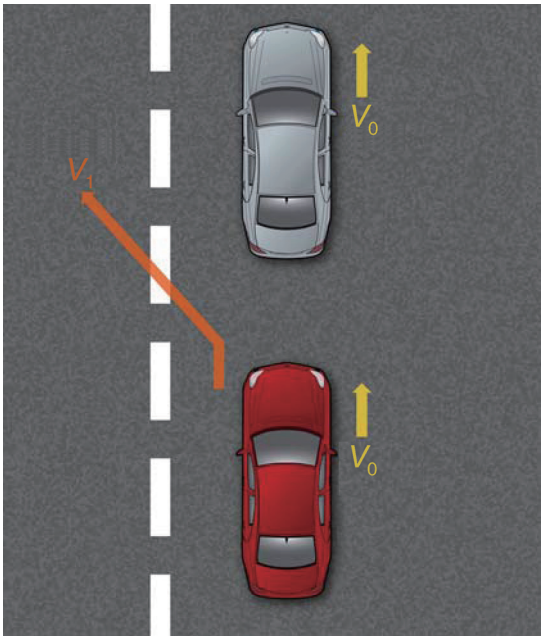


图 4-8 车辆超车行驶距离

表 4-4 加速距离

时间 /s	速度 / (km/h)	加速度 / (m/s ²)	加速度 /g	距离 /m	累计距离 /m
0	0	0	0	0	0
2.9	48	4.62	0.47	19.44	19.44
4.3	64	3.19	0.33	21.90	41.34
6.2	81	2.35	0.24	38.21	79.56
8.4	97	2.03	0.21	54.08	133.64
11.5	113	1.44	0.15	90.06	223.70
14.9	129	1.31	0.13	113.97	337.67
16.7	135	0.99	0.10	65.97	403.64
19.5	145	0.96	0.10	108.88	512.51

4.5 主动安全应用的时间区域

接下来分析主动安全应用的时间限制。在未来的如合作式自适应巡航控制[22]，合作式前向碰撞警告、变道辅助和预碰撞感知等应用，将一起组成合作式碰撞避免系统（CCAS）。我们定义时间区域是为了针对这种系统的碰撞避免。在全世

界，追尾碰撞占所有事故中的主要比例。这就是为什么我们今天已经有初步的“简单”应用，例如提供驾驶人辅助的安全跟踪，主要是跟踪前面的车辆，从而避免和其他车辆的追尾碰撞。并且此系统将逐渐增强，以提供最终的碰撞避免。安全跟踪和防碰撞系统当然都要求协作驾驶[23-25, 9]，这就意味着需要通过组合车载传感器数据和自组织车载网络发送的合作式系统信息，完全重构驾驶环境和道路环境。在引入的第一阶段，当一辆车预测要发生碰撞时，只是通过图像、声音和 / 或触觉警告驾驶人。在后续阶段，当这些系统的可靠性得到验证后，系统将会做一些控制（也即制动、转向），甚至取代人类驾驶车辆。

为了获得周围车辆动态信息，需要车车通信系统。每一辆车都是消息的发送者或是接收者（图4-9）。因此，系统必须能够独立地收发消息。否则会如4.3节所述导致时延增加。

接收者需要获得周围车辆的数据信息，并且车辆逻辑单元需要评估周围车辆的数据信息内容。我们总结了碰撞避免系统的数据和网络需求，同时也总结了为获取必要信息可能用到的设备和传感器。

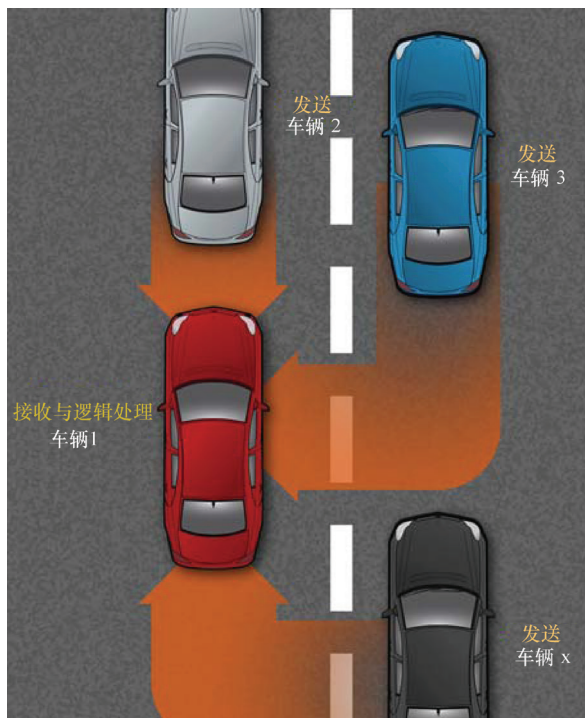


图4-9 分布式消息发送

4.5.1 数据要求

基于信标消息的防碰撞系统[26-28, 9]的数据要求如下，但不限于下面的内容：

- 绝对位置（°）（通过定位业务系统如GPS获得）和相对精度（m）（通过基于雷达的传感器获得）；
- 速度（m/s）（通过速度计、GPS获得）；
- 加速度 / 减速度 - 纵向和横向（ m/s^2 ）（通过XYZ加速度计， g （Z轴）也必须测量，因为该值在全世界并不完全相同）；
- 方位角（°）——北方向的偏航（通过GPS、指南针、陀螺仪获得）；
- 偏航率（°/s）——纵向角度旋转（通过GPS、陀螺仪获得）；

- 位置置信度（基于定位可靠性——受信号强度、天气等条件影响）；
- 转向信号状态（左、右或无转向信号）；
- 其他的车辆内部参数：ABS 和 ESP 状态、重量、悬架系统、制动系统、制动响应时间、胎压、宽度和条件（通过车载电脑、传感器获得）；
- 道路摩擦系数（通过外部智能传感器：在车上或沥青里、交通信息中心获得）；
- 风速和方向（通过风速计、基础设施通信获得）；
- 道路几何（直的 / 弯曲）（通过带有数字地图的 GPS 或通过雷达“跟踪”获得）；
- 当前的车道（基于位置和数字地图）。

请注意上述提到的数据要求既包含本车也包含周围的车辆。

其他的参数也需要实时监测，但仅在发生改变时发送（紧急的情况：如翻车，在弯曲道路中由于湿滑倾斜）。

- 俯仰角（°）——车辆的前面相对于后面倾斜（陀螺仪）；
- 俯仰率（°/s）——横向角旋转（陀螺仪）；
- 侧倾角（°）——车辆侧面倾斜（陀螺仪）；
- 侧倾率（°/s）——轧辊旋转（陀螺仪）。

以上参数相互依赖。例如，翻转可能出现在道路摩擦系统足够抵抗滑动（也即干沥青）的情况下。翻转风险基于测量的侧面加速度和评估的车辆重心做计算。这还依赖于其他的因子，如车辆重量、动力转矩、轮胎尺寸。

防碰撞系统不得不维持非常低的误警率，可通过使用多传感器技术如 [29-31] 车用通信、雷达、数字地图的 GPS、摄像头实现。车辆也不得不在车内数据库中存储信息，可以像飞机的黑匣子一样，记录驾驶人的最近动作和碰撞之前的车辆状态。[32, 33]。

4.5.2 网络要求

防碰撞系统的网络要求 [1-3, 9] 如下。

- 通信范围（单跳）：在 10 ~ 300m [34]（在即将发布的新规范 802.11p 支持 1000m）；
- 良好的到达率（每包发送接收成功率）：0.99；
- 低时延（时延）：20 ~ 100ms；
- 消息发送频率（更新率）：5 ~ 20Hz（也即：200 ~ 500ms）；

发送方要使用地理多播技术 [23, 3, 34, 9] 在其范围区域（如 1000m）向周围的车辆广播消息。范围区域（功率）可能根据发送者和周围车辆的速度而变化。但是这要求所有的车辆都要安装该系统。

- 单跳发送；

- 在高移动性 ad-hoc 网络内可靠性通信（相对车辆速度到 200 ~ 300km/h）；
- 可靠带宽；
- 可靠的安全 [35, 9]；
- 故障恢复；
- 防碰撞消息 [36-38, 9]：每条消息必须有一个车辆的唯一 ID（如：IPv6），同时要维护车辆的隐私。

在需要解决冲突或碰撞不可避免情况下，切换到双向通信（预碰撞感知）[8, 9]。两辆（或更多）车进行快速而可靠的双向单播连接。如果碰撞避免仍然可能，其中一辆车有优先权，则另一辆车必须采取其他的操作。另外，如果碰撞临近，单播连接可以允许更好使用执行器，如气囊或安全带预紧器。冲突解决的一个特殊场景是当其中一辆车在预防事故时不能正确操作（如：如果一辆车不能制动，前面的车辆可以加速或者甚至尽可能地换道）。

4.5.3 合作式避撞系统

合作式避撞系统（CCAS）必须基于距离 / 时间，特别是碰撞的时间，类似于 [39, 38, 40] 中飞机使用的 TCAS（交通警告和防碰撞系统）。如下定义了三种时间区域：

- 绿色区域：碰撞消除；
- 黄色区域：碰撞警告（仅建议）；
- 红色区域：防碰撞最短时间（动作——如果在模式 II，见图 4-10）

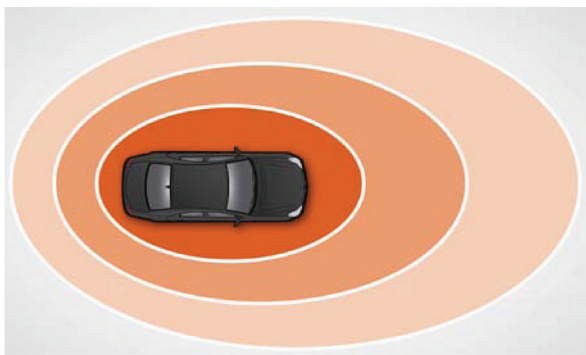


图 4-10 安全区

这些时间值根据每个用例计算得到的（参数，如制动距离；障碍物类型，如行人）。这意味着红色区域一般可能到 15s（根据制动时间的数学公式，参见 4.3 节）和黄色区域到 22s。

当一辆车驶入需要交通警告的区域，相对更广泛的区域，信标率由每秒一次增加为每秒两次。

使用避撞系统,当进入红色区域,系统可能在不失控的情况下自动进行“完全停止”以获得 $\mu g = 9.8 \text{ m/s}^2$ (如果 $\mu = 1$)的减速度[39,38,12]。而且,相对防碰撞系统的毫秒级的响应时间,驾驶人的反应时间大概在2s(120km/h的2s时延意味着制动距离增加66m)。

防碰撞系统的核心是系统逻辑。逻辑要求在必要和不必要保护的两个建议之间进行折中。这种折中由控制灵敏度级别(SL)完成,控制灵敏度级别控制红色和黄色区域的时间或 τ (τ)门限值,从而改变每辆车的被保护空间大小。然而,随着被保护空间增加,非必要的警告也会潜在地增加。因此不同的用例需要不同的灵敏度级别。

表4-5 给了一个9级的灵敏度级别例子。可能需要考虑更多级别的速度和 μ ,这样就有更多的灵敏度级别。另外, τ 值表示被阻止的障碍物(追尾)或者是对向的车辆。在第二种情况下,假设两辆车以相同的速度开向对方,因此时间是双倍的。在红色区域,积雪路面可以增加至42s。在实际情况下,计算两辆车的速度(对向或追尾),同时设置相应的时间。表4-5的所有时间都是理论上的,按照上面给的数学公式计算的,并且忽略了车辆的重量、轮胎条件、悬架系统、响应时间、制动系统等。

表4-5 灵敏度级别[12]

参与方的相对位置	障碍类型	摩擦系数(μ)	速度/(km/h)	灵敏度级别	时间(τ)/s	
					红	黄
追尾 (停车)	轿车/货车/摩托车/助力车	>0.75	<60	1	3	4.5
			60~120	3	5	7.5
			>120	4	7	10.5
		0.45~0.75	<60	2	4	6
			60~120	4	7	10.5
			120~160	5	9	13.5
	树/柱	<0.45	<60	5	9	13.5
			60~100	7	14	21
			<60	2	4	6
	行人/自行车	>0.75	60~120	4	7	10.5
			>120	5	9	13.5
			<60	3	5	7.5
		0.45~0.75	60~120	5	9	13.5
			120~160	6	12	18
			<60	6	12	18
对向	轿车/货车/摩托车/助力车	>0.75	60~100	8	18	27
			<60	3	5	7.5
			60~120	5	9	13.5
		0.45~0.75	>120	7	14	21
			<60	4	7	10.5
			60~120	7	14	21
	行人/自行车	<0.45	120~160	8	18	27
			<60	8	18	27
			60~100	9	28	42
		>0.75	<60	3	5	7.5
			60~120	5	9	13.5
			>120	7	14	21

防碰撞系统必须有两种运行模式：

模式 I ——只是警告。

模式 II ——警告和行动。

在某种特殊情况下，如果需要，模式 I 可通过路侧基础设施自动切换到模式 II。

防碰撞系统需要探测道路几何形状、通信目标和非通信目标。

前方的道路几何形状 [41, 42, 29, 30]（笔直、弯曲等）可以通过如下方法探测：

- 数字地图和 GPS 接收机能够在地图上指示车辆的位置和行驶方向。
- 集成的信号处理的摄像头和“跟踪”车道标记的电子影像。这个跟踪车道的方法并不可靠，因为车道线可能会消失或者由于天气原因看不见。
- 雷达通过监测前方车辆的轨迹来跟踪前车。

对于通信的目标（被安装的车辆），这些智能的车辆为了相互之间交换信息，不得不使用天线。可以使用定向或全向天线发送信息和接收响应。一种减小多径干扰和调整合适的信号强度的解决方案是使用多个并行天线。例如，可以使用两个并行天线（一个在车顶，一个在底部）。防碰撞系统包含检测其他车辆发送信标的监视功能。基于监视功能来判定潜在的危险。这个功能有一些输入参数，如范围、位置、速度、加速度和邻近车辆的方向。方法是解调多条重叠的信标。当前，在飞机行业，使用一些硬件能解调三条重叠的回复。

对于非通信的目标，需要引入目标检测的精确性水平。可以由后面章节中描述的摄像头或距离传感器检测：

一个集成信号处理和图像电子的摄像视频 [42, 29] 能够检测目标：目标的边缘、维度、位置和颜色。也能够达到光学字符识别（OCR）。这种技术的基础是解读图像。首先，使用描述在特定区域的图像运动的最好的数学多项式模型计算。然后，通过比较当前的图像运动和之前计算的运动（从数据库），可以识别障碍物。第三，目标轨迹和碰撞之前的时间被计算并作为参数输入到监视功能模块。

RADAR（超声波传感器）、LASER 和 LIDAR（IR）[29, 43] 检测目标的存在、缺失、方位或距离，同时能检测本车和前方目标车辆的相对速度。LASER 和 LIDAR 虽然比 RADAR 抗干扰、误警率低，但在环境不清楚的情况下（如尘土飞扬、恶劣天气等）性能也不好。为了降低误警率，需要复杂信号处理和跟踪算法。通常地，使用两种类型的雷达：宽角度（ $70^\circ \sim 90^\circ$ ）的短距（大概 30m）和窄角度（ $9^\circ \sim 12^\circ$ ）的长距离（大概 1 ~ 150m）。

图 4-11 给出了一个多传感器通信和非通信目标检测的例子。可以看到通过无线通信可以让驾驶人感知环境的范围比雷达要远。

智能车载系统必须能够 [29-31, 9] 做到：

- 通过移位位置数据同步不同传感器的数据（如使用卡尔曼滤波器的某种形式）。

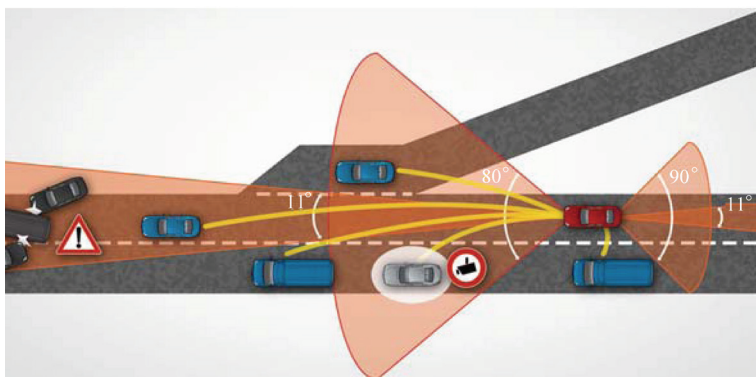


图 4-11 从多个传感器获得补充信息的例子

- 收集目标的位置和速度，目标的形状，多个传感器获得的道路形状和消除误警。为了维持对周围目标的跟踪，感知机制必须实时。
- 分析信息（如相对速度、形状、车道内外等），从而对目标分类：乘用车、公交车、货车、摩托车、自行车、行人、动物、树木、道路标识等。
- 发布冲突的解决命令。

我们对一个系统进行了分析，该系统综合运用车用通信和车载传感器数据，对驾驶环境和道路环境进行了重构。

参考文献

1. Q. Xu, R. Sengupta, and D. Jiang, Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 GHz dedicated short range communication spectrum, USA
2. S. Yousefi, A. Benslimane, and M. Fathy, Performance of beacon safety message dissemination in vehicular ad hoc network
3. X. Ma and X. Chen, Performance analysis and enhancement of safety applications in DSRC vehicular ad hoc networks, 2007
4. H. Hada and H. Sunahara, DGPS and RTK positioning using the internet, Japan, 2000
5. <http://www.wsv.de/fvt/index.html>
6. <http://www.gpscontrol.com>
7. <http://www.trimble.com>
8. <http://www.prevent-ip.org>
9. Car2Car Communication Consortium – Application Working Group, 2006, www.car-to-car.org
10. <http://www.tuninglinx.com/html/aquaplaning.html>
11. W. Seibert and H.J. Hilt, WILLWARN Hazard detection, Böblingen (Germany), 15, November 2006
12. <http://www.csgnetwork.com/stopdistcalc.html>
13. R. Serway and J. Jewett, Physics for scientists and engineers, 6th ed., Brooks/Cole, 2004
14. B.N.J. Persson, U. Tartaglino, O. Albohr, and E. Tosatti, Sealing is at the origin of rubber slipping on wet roads, 2004
15. <http://www.sdt.com.au/STOPPINGDISTANCE.htm>

16. G.J. Forkenbrock, M. Flick, and W.R. Garrot, NHTSA light vehicle antilock brake system research program task 4: a test track study of light vehicle ABS performance over a broad range of surfaces and maneuvers, January 1999
17. <http://www.bosch-esperience.com>
18. <http://www.nhtsa.dot.gov>
19. http://www.conti-online.com/generator/www/us/en/continentalteves/continentalteves/general/home/index_en.html
20. R. Radlinski, Electronically controlled braking systems performance evaluation, February 2003
21. R. van der Aalst, Formula student vehicle analysis by means of simulation, 2005
22. A. Vahidi and A. Eskandarian, Research advances in intelligent collision avoidance and adaptive cruise control. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 143–153, September 2003
23. T. Kosch, Technical concept and prerequisites of car-to-car communication, München: BMW group research and technology, <http://www.car-to-car.org>
24. M. Provera, Activities and applications of the vehicle to vehicle and vehicle to infrastructure communication to enhance road safety, Torino, 2005
25. C. Adler and M. Strassberger, Putting together the pieces – a comprehensive view on cooperative local danger warning, München
26. S.J. Hong, J.Y. Choi, Y.I. Jeong, K.Y. Jeong, M.H. Lee, K.T. Park, K.S. Yoon, and N.S. Hur, Lateral control of autonomous vehicle by yaw rate feedback, Korea, 2001
27. <http://www.oxts.com>
28. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>
29. <http://www.carsense.org/>
30. Ivsource.net, Advanced Collision Avoidance (ACAS) Field test launched in Michigan, 2003
31. <http://www.its.dot.gov>
32. <http://www.howstuffworks.com/black-box10.htm>
33. <http://www.l-3ar.com>
34. DSRC_Tutorial_06-10-021.ppt
35. <http://www.sevecom.org>
36. D. Marsh, CANbus networks break into mainstream use, Europe: EDN, 2002, <http://www.edn.com>
37. R. Garces and J.J. Garcia-Luna-Aceves, Collision avoidance and resolution multiple access with transmission queues, California, 1999
38. U.S. Department of Transportation, Introduction to TCAS II version 7, November 2000
39. Ed Williams, Airborne collision avoidance system, Australia, 2004
40. R.Y. Gazit and J.D. Powell, Aircraft collision avoidance based on Gps position broadcasts, Stanford University, 1996
41. G. Segarra, Activities and applications of the car 2 car communication: the Renault vision, <http://www.car-to-car.org>
42. <http://www.globalspec.com/>
43. A. Hoess, Multifunctional automotive radar network (RadarNet) final report, RadarNet consortium, 2004

第 5 章 路 由

所谓路由是指将数据分组从源节点移至目的节点，并在必要时分配一个到目的节点的路径。在多跳机制中，路由意味着通过其他车辆转发含有信息的分组。这些信息主要用于对已发生的事件进行预警，例如本地危险警告和交通流量信息。如果通信范围内没有车辆，分组将被存储，并且在监测到有车辆进入通信范围时立即发出。

多跳机制中主要有两种信息分发方式：采用组播方式分发至周围所有节点；采用位置辅助多播方式分发至特定区域内的节点。节点之间通过交互网络链路相关信息来计算将信息路由至其他节点的最佳路径。

在高移动性 ad hoc 网络中，路由由必须在确保网络分发消息完整性前提下最小化消息的传输次数。消息的完整性受包括路由算法、环境条件、入侵者攻击等多种因素影响，下文描述了几种算法，我们引入三个关键参数以比较这些算法：分组成功投递率（PDR, Packet Delivery Ratio）、时延和开销。

PDR 表示被成功接收的分组占发送分组的比例。理论上，当没有消息丢失时，PDR 的值是 1。实际测试中，由于 ad hoc 网络的一大弱点是源节点到目的节点的路由往往在通信过程中出错甚至断掉，PDR 的值通常小于 1。根据文献 [4] 中的论述，通过在 ad hoc 网络中采用节点间局部相对位置发现路由并进行路由判决的方法可以显著降低分组丢失率。

延迟或端到端时延是指从源节点将分组发送至目的节点的时间差。往返时间（RTT, Round Trip Time）则表示上述延迟与从目的节点返回至源节点的时延之和，即众所周知的 ping 时延。

路由开销表示控制数据与有效载荷数据之比，该值应尽可能降低以避免网络过载。基于位置的路由算法可以降低开销，这类算法可通过类似于 GPS 的定位系统获取绝对位置或者获取节点间局部相对位置。

容错是路由算法中另外一个重要参数，该参数需要检测错误并从中恢复。

上述参数可由所谓的“可扩展性效应”统一表征，该效应保证了算法的适应性，并表征了网络规模增长所伴随的服务质量（QoS, Quality of Service）影响（包

括 PDR、延迟、开销、容错等)。一个可扩展的算法能够在网络规模增加时维系 QoS 参数。

图 5-1 解释了基于多跳位置的路由机制,其中存在多种传输策略:将消息广播至周围所有车辆直至送达位置辅助多播区域,或者创建一条从源节点到位置辅助多播区域的路径。每种传输策略都有其优缺点,路径创建策略对网络负载的影响较小,但若链路中断会导致信息丢失。泛洪策略可通过创建多条路径提供容错,但会增加网络负载。

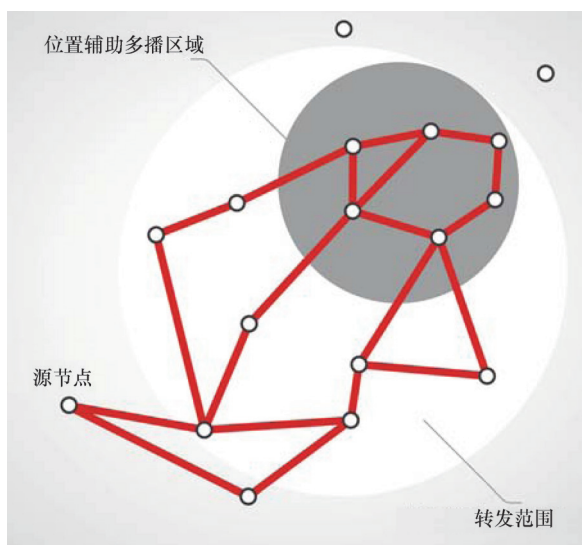


图 5-1 基于位置的多跳机制

路由算法包含两个基本组成部分:数据分发算法和路由判决算法。典型的路由器通过其数据分发算法获取路由信息,并利用这些信息构建转发表。构建转发表的过程就是将协议判决算法应用于接收到的路由数据的过程。分发算法可以是按需的或完全分发式的,“按需(又称被动式)”意味着只有当特定节点请求时才计算路由;“完全分发式(又称主动式)”的意思是到所有可能的目的节点的路由已经预知。主动式方法提供了较佳的时延性能,但路由对变化不敏感,不会实时更新,因此需要大量的控制包,进而增加了开销。另一方面,反应式方法只需要较小的开销,但会产生较大的时延。因此,最佳方法称为混合方法,综合了上述两种方法的优点。

接下来,我们将讨论各种转发算法,首选介绍不依赖位置的算法,接下来是基于位置的算法,最后讨论几个在路由层内提供安全性的特殊算法。基于所分析的算法,我们发现 CLA 和带有 AGF 技术的 Octopus 能够提供最佳期望结果(较低的负荷、较好的 PDR、较好的容错等)。遗憾的是,由于缺少实际参数以及未进行实际设备实验,我们并不能确定最佳算法。

总体而言，我们介绍了两组路由协议：首先是公共路由协议，例如 AODV，然后是安全路由协议以及对现有路由协议的安全扩展。重点是利用位置信息支持路由功能的协议，其原因在于我们认为这类协议在车用通信的高移动性场景下能获得最佳性能。

5.1 多跳路由协议

接下来的章节介绍公共路由协议，重点是基于位置的路由协议。

5.1.1 ad hoc 按需距离矢量路由 (AODV)

ad hoc 按需距离矢量路由算法是专门为移动 ad hoc 网络设计的著名算法，在 RFC3561 中有详细描述。AODV 既支持单播也支持多播通信，并且是按需创建的，只要源节点有需要就始终保持。多播分组成员的管理采用了树形结构，该结构反映了连接到必要的多播成员的网络拓扑，结构中的点和边分别代表网络节点和连接。该算法还引入了序列号机制以保证路由是最新的。AODV 的主要特征是其能够避免路由自环，且便于扩展至大量节点的场景。

AODV 中路由创建的核心机制是路由请求 (RREQ) 和路由响应 (RREP)，参见图 5-2 [8, 9, 12]。

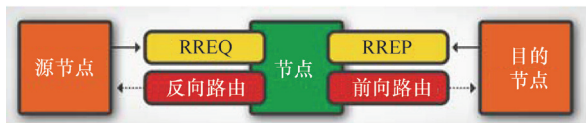


图 5-2 利用路由响应和路由请求原语创建 AODV 路由

在发起向未知节点的传输之前，源节点广播一个 RREQ 分组，一旦接收到 RREQ，接收端将更新其本地拓扑信息，即路由表，并且要维护用于标识 RREQ 来源的后向指针，称之为反向路径。

RREQ 由其 RREQ ID 和源节点 IP 地址进行标识，它还包含了源节点和目的节点的序列号。源节点序列号用于接收节点路由表中的后向参考，目的节点序列号是源节点接收到的路由至目的节点的最后一个序列号。

如果一个节点是目的节点，或者该节点的路由表包含有路由至目的节点的表项且目的节点序列号不小于 RREQ 中的序列号，则该节点将产生一个 RREP。若没有 RREP 产生，源节点将更新跳数和目的节点序列号域值并重新广播 RREQ，以寻找前向节点中的潜在新表项。

当 RREP 途经送至源节点的路径上的中间节点时，这些中间节点在转发 RREP 之前将先在其路由表中创建一个到目的节点的表项（称为前向路径）。接收到针对其请求的 RREP 之后，源节点可通过刚刚创建的路由启动向目的节点的数据发送过

程，这之后到达的 RREP 只用于更新源节点的路由表，前提是新路由是更优的，例如跳数更少。

当源节点终止发送数据时，链路将超时并最终被从中间节点的路由表中删除。当目的节点无法找到时，一条报错消息（RERR）将被传送至源节点，宣告链路中断。

创建多播路由的原理是类似的，即首先广播路由请求（RREQ），但该广播将被发送至带有“J”（join）标志的多播组的 IP 地址。位于多播树上且具有最新序列号的节点将使用 RREP 对 RREQ 进行响应，该过程还将设置后向指针以维持多播路由表。

在特定的发现周期超时之后，将利用多播激活消息（MACT）对路由进行激活，该消息由源节点采用单播方式发送至选中的下一跳节点。

处于激活状态的路由及多播树将始终维持,但由于节点的移动性,路由的生命周期内将会发生链路中断。

为了更好地理解 AODV 的工作原理，我们在图 5-3 中给出一个具体例子。此处我们展示了特定情况下被节点维持的链路。首先，我们假定利用 AODV 算法所创建的从源节点（S）到目的节点（D）的路由经过如下节点：6、7 和 5，称之为前向链路（RREQ）。目的节点对源节点进行响应并创建了反向链路（RREP）。但若之后节点 5 远离了节点 7，则会发生链路失败，节点 7 监测到链路失败并向源节点广播 RERR。

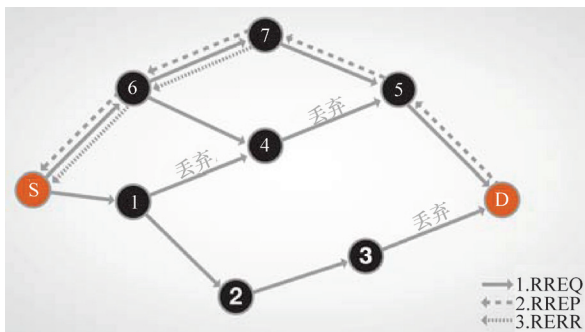


图 5-3

如果由于节点移动或信道条件变差导致路由找回过程频繁发生,那么性能会受到严重影响[13](巨大开销及数据传输中断)。

正如参考文献 [14] 中所描述的, 在 VANET 中, 特别是在城市场景下, AODV 会遭遇性能问题。这些问题是由于冗余传输 (不受控的泛洪)、信息丢失以及阻止向所有节点分发信息之间的冲突导致的。根据城市场景的实验情况, 文献 [14] 的作者认为冲突导致一半的 RREQ 被节点丢弃了。

正如之后许多不同仿真研究所揭示的 [15, 2, 3, 16–24], AODV 在移动环境下会导致较大的时延、较高的开销和较低的 PDR。该算法并不是基于位置的, 不能提供很好的容错机制。

可以利用高速缓存提升信道承载能力, 且通常会减少跳数 [25]。

5.1.2 网格位置服务 (GLS)

GLS 由 J. Li 等人作为“发现服务”提出, 其基本思想是每个节点只向所有节点的一个较小子集发送其当前位置。

对多跳路由而言, 所有车辆节点必须能够确定其位置 [1], 基于位置信息, 选择离目的节点最近的节点转发一个分组 (贪婪算法)。因此, 对可用于避免网络泛洪效应的贪婪转发算法而言, 位置信息是至关重要的。但在实际的 V2V 网络中, 特别是在有障碍物的城市场景下, 纯粹的贪婪算法会导致较差结果, 即分组丢失。当没有比当前转发节点更接近于目的节点的可用邻节点时, 这种情况就会发生。

在 GLS 中, 每个网络中的节点只维护全局位置数据库中的一部分信息 [27]。对邻节点的收集构成一个簇, 该业务创建了一个本地数据库的固定网格, 其中网格线对网络中的所有节点可知。每个节点有一个由自然数表示的唯一标识 (ID)。簇内的邻节点要进行分组, 每个节点要维持对同一簇内的邻节点的跟踪。根据节点的传输距离, 会创建一跳和两跳的邻节点列表。

存储有节点 ID 和其位置映射关系的节点称之为位置服务器, 节点位置并不参考其实际地理位置, 而是网络数据库中的量化位置, 因此确定一个节点的位置只需定位到该节点所在的簇即可。位置服务器要发现通信参与者, 并且位置变化时要进行更新。

GLS 算法的基本理念是在网格结构之上以四叉树的形式创建数据库 (图 5-4), 四叉树是一种树形数据结构, 其内部节点最多有四个子节点。

如图 5-4 所示, 网格簇以分层的方式组织, 最底层的网格簇称为 1 阶方格 (square), 在其上称为 2 阶方格, 以此类推。GLS 的基本原理是要在 n 阶方格中为 $n+1$ 阶方格内的任意节点 A 选择一个位置服务器。

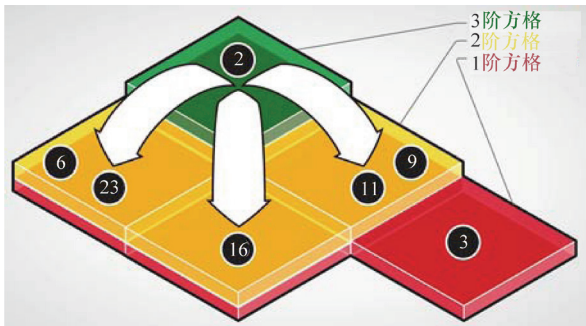


图 5-4 GLS 网格一览

确定节点 A 位置服务器的方格时使用了哈希函数, 该哈希函数将节点 A 以及各个方格内的所有节点的 ID 作为输入参数。

节点 A 对应的 n 阶方格中的位置服务器是 n 阶方格中具有与节点 A 的 ID 最接近的 ID 的节点。为了找到目标 ID 对应的的位置服务器, 哈希函数的设计将使得每个节点都有一个特定的方格和 ID。

找寻位置服务器以将任意节点映射到其位置的算法将在下文描述。每个方格都要维护一条节点 ID 到当前位置服务器的路径。定位一个节点的原理是要找到该查询节点所知晓的具有“最近 ID”的节点, “最近 ID”节点知晓具有“更近 ID”的节点, 以此类推。该过程将持续到发现具有被查询位置信息的节点为止。目标节点被找到后, 将向发起查询的节点反馈一个响应, 以告知其位置。

位置更新过程与上述找寻节点的算法类似, 位置更新消息将被发送至 n 阶方格, 之后转发至方格内具有更近 ID 的节点, 与上述算法不同之处在于信息是写入而非读取。

图 5-5 给出了一个位置服务/更新过程的例子 [23, 29]。首先, 每个节点知晓其在 1 阶方格中同一簇内的邻节点, 之后节点 2 向其服务器 (9, 6, 16) 发送位置更新, 形成 2 阶方格, 节点 3 向其服务器 (2) 发送位置更新, 形成 3 阶方格。当节点 23 发起节点 3 的查询时, 就启动了从一跳到另一跳的找寻节点 3 的过程 (它并不直接知晓节点 3, 而是通过邻节点知晓节点 2, 通过节点 2 找寻节点 3)。

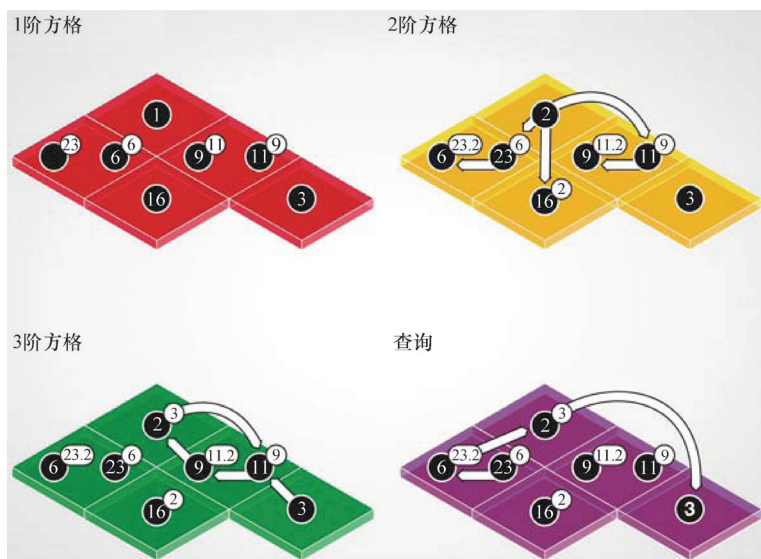


图 5-5 GLS 过程举例

一个重要问题 [27] 是要最小化节点间链路包含有过期信息的时间, 当一个节点移动到新的网格, 导致部分其他节点没有位置服务器时, 这种情况就会发生。

在 GLS 发送消息（尤其是位置更新）所需带宽和位置查询成功率之间存在特定的相关性，因此引入了一个发送位置更新的触发器。经过

$$2^{n-2} \cdot d \quad (9)$$

移动后，就需要触发一次位置服务器更新，其中 n 是 n 阶位置服务器， d 是位置更新再次发送时节点可能的移动距离。

缺点仍然存在，更新过程执行之前，仍然可能导致部分节点没有位置服务器，从而引发下述问题：

- 可能导致分组丢失。
- 过期的邻节点表项可能引起过多的数据重发（过载）。
- 若更新太频繁也可能导致过载。

经过对大量仿真结果的研究 [26, 20, 23, 30, 31, 28, 32 - 34], GLS 在移动环境下会导致较大的时延（尽管比 AODV 小）、较高的开销和较低的 PDR。时延和开销可能随着节点密度的增加上升 3 倍。该算法提供了容错：网格中存在的多个位置服务器保证了即使单一位置服务器出错，也不会导致节点不可达。相对于 AODV 算法，GLS 是基于位置的，并且采用了预防式方法以减少隐私问题。GLS 是可扩展的，但在大型网络中（超过 1000 节点），PDR 会降到 0.5 以下。它利用地理位置分发的方法消除了 AODV 中不可控的泛洪问题。

5.1.3 贪婪周边无状态路由（GPSR）

GPSR 算法包含两个转发分组的方法 [25]：一旦可能就会采用的贪婪转发和在贪婪转发失效区域使用的周边转发。

贪婪转发算法使用携带目的节点位置的分组，这些分组被源节点打上了标签，采用这种方式，分组总是被转发到地理位置上最接近目的节点的邻节点。

纯贪婪转发算法具有如下缺点 [7]：

- 节点移动会导致位置精度下降。位置服务器节点的位置可能会发生变化，在更新过程执行之前会导致部分节点没有对应的位置服务器，从而导致分组丢失。另外，过期的邻节点表项可能引起过多的数据重发。
- 信标会导致额外的网络负载。
- 链路层信标广播导致错误恢复失败。由于彼此接近的节点不能相互识别，会导致传输失败。

当没有可用邻节点比当前转发节点距离目的节点更近时，采用纯贪婪转发算法可能会导致分组丢失，为了解决这一问题，采用一种称之为周边模式 [15, 25] 的 GPSR 恢复策略。GPSR 周边模式由两部分组成：分布式平面化算法和应用与平面图在线路由算法。前者通过移除冗余边将连通图转化为平面图，后者将分组沿着平面图中朝向目的节点的面转发。

上述算法在城市场景下仍然有一系列缺点，例如：

- 某些特定情况下由于错误删除了冗余边而导致网络中断。
- 跳数过多（与贪婪算法相比）。
- 路由环（在某些特殊情况下，右手法则的应用创建了路由环）。

在 GPSR 中，当采用贪婪模式转发分组时，对下一跳节点的选择是基于当前转发节点的邻居表，但邻居表并不是实时更新的，因此所选择的邻节点可能不是最优的，甚至已经不再是邻节点。

基于 [20, 21, 24, 32, 25] 中的仿真结果，信道负荷平均而言比较低，但是包成本将随着节点密度增加而快速上升。GPSR 的平均时延与分组速率基本无关，但随网络规模增加而上升。它提供了较佳的 PDR 性能，但在移动环境下性能会下降。该算法是基于位置的、可容错的，且采用了预防式方法。它利用地理位置分发的方法消除了不受控的泛洪问题。

5.1.4 地理源路由（GSR）

GSR 是一种考虑了区域地图（需要 GPS 导航系统）的基于位置的路由方法 [15]，从而可以消除 GPSR 在城市场景下的缺点。为确定待通信节点的当前位置，采用了被动式位置服务（RLS, Reactive Location Service）。

RLS 是一个路由发现过程，该过程允许 ad hoc 网络中的一个节点按需查询另一节点的地理位置。在预防式位置服务（如 GLS）中，即使网络中没有节点发起请求，位置信息也会进行分发和管理，与之相反，响应式位置服务只采用按需的方式获取位置信息。

发送节点计算到目的节点的路径。该路径实际上是基于街道和障碍物（例如建筑物）数字地图的一系列连接点，使得传输可以绕过障碍物。

RLS 的原理将在下文描述 [35]。当某节点想要与另一节点取得联系时，它将发起一个查询，其中包含了源节点的 ID、位置以及目的节点 ID。为到达目的节点，泛洪技巧被引入。如果一定时间窗口内未找到目的节点，泛洪信息将被丢弃。时间窗口就是著名的“生存期（TTL, time-to-live）”。目的节点（如果可达）将向源节点反馈一个响应分组，该分组包含了源节点和目的节点的 ID 和位置信息。位置发现过程完成的标志是响应分组被源节点成功接收。

源节点将给所有查询分组添加编号，数值表示源节点查询目的节点的尝试次数。该编号保存在高速缓存中，用于避免网络信息泛滥时的无限循环和重复包。其原理在于每个转发节点都要将分组编号与缓存中的编号进行比较，如果比缓存中的编号小，就丢弃该查询分组，从而避免重复包。

发送节点利用位置查询分组和位置响应分组可以计算出到目的节点的基于环境地图的路径。当两个连续交叉点之间未检测到障碍物时，采用纯贪婪方式发送分组，否则，为了到达目的节点，发送节点将计算出一个路径序列。

上述序列可被放至分组头或者由每个转发节点单独计算，两种方法各有其优缺点：

- “分组头”方法可免除每个转发节点的计算功率，但也丧失了重新计算路由的可能性。
- “每个转发节点单独计算”方法需要更多的计算功率，但可以基于邻节点的信息计算到目的节点的其他路由。

GSR 的一个缺点是要求有足够数目的车辆以保证两个通信节点之间的联通性。另外一个路径发现策略是引入基础设施，当没有其他车辆可用时，利用基础设施转发分组。

5.1.5 基于竞争的转发 (CBF, Contention-Based Forwarding)

CBF[36] 是一种基于位置的单播转发机制，该机制不利用邻节点信息。转发节点的所有合适的邻节点都参与下跳选择过程，转发判决是基于分组被转发时各节点的实际位置。该算法消除了纯贪婪算法的缺点。

在基于位置的路由中 [7]，其原理在于将分组从一跳转发至另一跳是基于节点的局部地理位置完成的。因为是基于每个节点的局部位置信息，所以不需要创建和维护一个全局路由表。因此该算法通常是高度可扩展的，并且在网络节点移动时具有鲁棒性。

CBF 机制使用基于竞争的方法确定下跳转发节点，并保持其他节点的静默。通常情况下，CBF 支持单播路由，但 VANET 中用于信息分发时，可以同时的几个方向上发送分组。CBF 有如下主要优点：

- 所有相关节点都参与判决过程，换言之，判决是基于所有邻节点的当前位置。
- 由于不需要邻居表和信标，该算法具有较低的开销、较高的可扩展性以及网络节点移动时的高度适应性。

对消息内容的利用是比较新颖的，这会引入新的概念，例如特定生存期和消息优先级（消息的相关性）下的自组织分发区域。消息相关性是基于上下文的，例如：

- 到事件的距离 / 时间。
- 到最后一个消息转发节点的距离 / 时间。
- 信息已被相邻车辆知晓的概率。
- 消息产生时间。
- 最后一次成功传输的时间。
- 最后一次成功接收的时间。
- 发送方向。
- 车辆发射功率。

该方案的基本原理是 [36]：

- 转发车辆将分组广播至所有邻节点。

- 选择一个最佳节点转发分组。
- 为避免包重复, 该最佳节点将抑制其他节点转发。

CBF 技术是基于定时器的, 这意味着分组不会被节点直接转发, 而是等待一定时间周期后再发送。分组由最接近目的地的节点转发。由于存在传播时延, 可能会有不止一个节点转发消息, 但由于所选节点更接近于目的节点, 这种可能性会下降。

竞争可以基于偏差定时器以及其他三种抑制策略实现 [7]。基于定时器的竞争进一步解释如下。分组传输进展 (packet progress) P (对无线传播距离进行了归一化) 由下式给出

$$P(f, z, n) = \max \left\{ \frac{\text{dist}(f, z) - \text{dist}(n, z)}{r_{\text{radio}}} \right\} \quad (10)$$

式中, f 表示可以从包头中读取的最后一个转发节点的位置; z 表示目的节点; n 是参与转发分组竞争的节点位置; $\text{dist}()$ 函数用于计算两个节点之间的欧几里德距离; r_{radio} 表示最大无线传播距离。

为了进一步最小化分组到目的节点的剩余距离, 每个节点都基于上述进展函数计算其定时器, 节点的定时器设置为

$$t(P) = T(1-P) \quad (11)$$

式中 T 是最大转发时延。定时器 $t(P)$ 超时后, 位于位置 n 的节点将转发分组, 竞争过程就是基于该定时器的 (最先超时者获胜), 为避免重复广播, 转发之后定时器将被删除。

由于以下原因, 可能有不止一个节点会转发消息:

- 传播时延 (可以通过增加最大转发时延 T 避免)。
- 其他节点彼此之间在传输范围之外 (最坏情况下可能有三个分组副本被转发, 如图 5-6 所示)。

为了避免上述 “基本抑制方案” 导致的分组重复发送问题, 文献 [7] 提出了几种其他抑制方案:

- 1) 区域抑制方案 (只能解决节点不在传输范围内的分组重复问题)。
- 2) 激活选择方案 (可以解决所有形式的分组重复)。

区域抑制方案的思路是降低下跳节点的选择区域, 实现方法是保证所有抑制区域内的节点在彼此的传输范围之内。选择抑制区域的最佳判决是勒洛三角形 (好于圆形), 区域内任意两点都不会超过彼此的传输范围 (参见图 5-7)。选择勒洛三角形而不是圆形的目的是为了增加选中一个较佳转发节点 (覆盖更多邻节点) 的机会。

利用勒洛三角形作为抑制区域的算法包括以下步骤:

- 转发节点重传分组。
- 勒洛三角形内节点①参与竞争过程。



图 5-6 从多个节点转发同一消息



图 5-7 勒洛三角形算法

- 基于定时器超时原则选择下跳节点并向其传输。
- 抑制其他节点。

如果区域①、②、③内的邻节点都不知晓目的节点，则需要引入恢复

策略。

区域抑制方案的主要目的是为了降低分组重复，但是由于一个分组最多可能被发送 3 次，这意味着额外增加了网络负载，然而随着节点数量的增加，多于 1 次传输的概率也降低了。进一步讲，找到一个潜在的下跳节点的最大概率就是在勒洛三角形内，因为它覆盖了①、②、③中的最大区域。

激活选择方案的目标是利用额外的控制消息避免不同形式的分组重复，其灵感来自于 RTS (Request To Send)/CTS (Clear To Send) 方案。过程描述如下。转发节点发送一个控制分组 RTF (Request To Forward)，该分组包含转发节点和最终目标节点的位置，转发节点根据基本抑制方案的规则设置一个响应定时器，当定时器超时后，将广播一个控制分组 CTF (Clear To forward)，该分组包含有转发节点的位置。抑制算法基于以下事实：当某节点收到 CTF 时，它将删除其自身的定时器。如果转发节点收到了多个 CTF 分组，它将选择具有最大转发进展的节点，并采用单播方式将信息分组发送至该节点。与区域抑制方案相比，激活选择方案的一个优点是它能与 RTS/CTS 方案集成使用，从而最小化“隐藏终端”问题。

传统的基于位置的路由算法由于邻居表过期可能引发过多的数据重传，基于竞争的转发方法则消除了这一问题。

5.1.6 Octopus (八爪鱼)

Octopus 将网络空间分成了水平带和垂直带 [34]，同一带内的节点存储彼此的位置信息。其位置更新技术称为同步聚合，提供了开销和容错之间的良好折中。其中“同步”的含义是不会重复发送位置更新。

Octopus 路由是专为节点频繁进入和离开的高移动性网络所设计的，特别适用于车用通信。它是一种基于位置的路由算法，每个节点都确定其自身位置，如使用 GPS。当发生诸如 MAC 级碰撞导致分组丢失等错误时，该算法提供了恢复机制。

Octopus 由三项服务组成：位置更新、位置发现和转发。位置更新服务为每个节点保留两类信息：邻节点的无线传播距离和邻节点在带内的方向（北、南、西或东）。当节点发起位置请求时，位置发现服务将确定目标位置。转发服务则将数据分组转发至目标节点。

一旦从各节点接收到信标消息，邻节点将被更新。信标消息包含 ID、位置和速度。如果在预设的时间内（如 2 倍或 3 倍信标发送频度）没有侦听到邻节点，当前车辆将移除该节点信息。

理论上，位置更新协议将提供 100% 的可靠性，然而如文献 [34] 所述，由于频繁的错误和移动性，PDR 可能会降至 95%。

位置发现是基于查询和响应的机制，该机制利用了目标节点相对于源节点的方向信息。假如所有节点都发送永久信标，那么位置业务将不再需要。

地理位置转发是基于每个节点都知晓其一跳邻居及位置信息的事实。每个中间节点都将分组转发至地理位置上最接近于目的节点的邻节点，但是如果中间节点比其所有邻节点更接近于目的节点，算法将会失效，这就是路由算法要选择替代目标以保证从错误中恢复的原因。由于分组发送过程中节点会发生移动，目标位置必须要持续重估。

基于文献[33, 34, 37]提供的仿真结果，信道负载是较低的（由于地理位置转发以及多个节点位置的单一分组更新），它提供了良好的PDR性能，但在高节点密度环境下会有所下降。该算法是基于位置的、可容错的混合类（同时支持预防式和响应式）算法。

5.1.7 高级贪婪转发（AGF, Advanced Greedy Forwarding）

AGF进一步提升了GPSR在VANET中的性能。它是一种基于诸如GPSR等常规转发协议的增强技术，可应用于任何基于洪泛或贪婪技巧的协议。

路由协议使用简单的信息进行了测试，这些信息包括每个节点广播的速度矢量信息（速率和方向）及身份信息。两辆车的速率和方向信息可基于响应式位置服务进行交互。除了身份信息，分组头还包含了时间戳，该时间戳会被放置到每个转发节点中。

分组转发的工作过程如下：接收到数据分组后，节点必须验证邻居表以确认目的节点是否被包含，如果被包含则必须验证节点的合法性。另一个必须要考虑的因素是分组旅行时间及转发节点和目的节点的速度矢量。

如果邻居表包含了目的节点但估测其在传输范围之外，那么距离目的节点最近的邻节点将被选为下跳节点。另一方面，如果目标节点不在邻居表中，当前节点将根据分组旅行时间预测目的节点是否在一跳范围内可达，如果预测目的节点不在一跳范围内，非传播性广播（non-propagating broadcast）将发送至距离目的节点最近的节点，这一过程一直持续到目的节点最终被找到。文献[14]提供了一个基本算法。

5.1.8 首选分组广播（PGB, Preferred Group Broadcasting）

PGB是构建于现有常规转发协议如AODV基础上的路由技术，它通过移除冗余广播降低了控制消息开销，同时也增强了提供自动纠错功能的路由性能，这可以提供在高移动性ad hoc网络中更高的稳定性，而稳定性是车用通信中的关键要素。

PGB解决了以下问题：

- 两跳之间距离过短（路径上跳数过多）。
- 两跳之间距离过长（连接质量较差，连接可能中断）。
- 第6章中详述的隐藏终端问题（这主要是指对源节点和目标节点的网络分配矢量（NAV, Network Allocation Vector）进行调整以规避干扰，但其他节点发起的传输可能会导致干扰）。

由于 PGB 算法中限制只有特定的节点能发起二次广播，路由负载也降低了。该算法根据每个节点的功率信号强度将其分为了三组（图 5-8 以圆环形式给出了示意，实际算法中未必是圆环）。

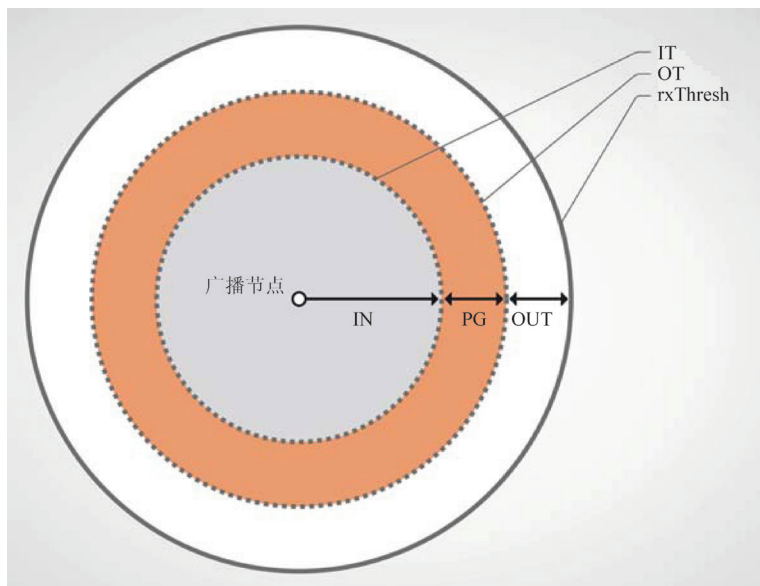


图 5-8 PGB 算法

- IN 组表示节点信号强于 PG 组的区域。
- PG (Preferred group) 组表示首选节点对应的区域。
- OUT 组表示节点信号弱于 PG 组的区域。

接收信号功率同两个值进行比较：内环门限（IT，Inner Threshold）和外环门限（OT，Outer Threshold），利用这种方式可将节点进行分组。接收门限表示（图中标示为 rxThresh，简称为 rxTh）最大传输范围对应的信号功率。

IT、OT 和 rxTh 之间关系如下：

$$IT = rxTh + fIT \quad (12)$$

$$OT = rxTh + fOT \quad (13)$$

式中，fIT、fOT 是用 dB 度量的正整数值，它们根据周边环境进行调整。

节点根据感知到的信号功率判断属于 IN 或 OUT 组，如果功率大于 IT，它属于 IN，否则属于 OUT。每组都有对应的 ID，PG 组的 ID 为 1，OUT 组的 ID 为 2，IN 组的 ID 为 3。最小 ID 1 具有最高的转发优先级。

此外，节点优先级也可以基于其坐标确定（除感知信号功率外）。

功率范围取决于 fIT 和 fOT，由下式表征：

$$\Delta P = IT - OT = fIT - fOT \quad (14)$$

改变 fIT 的值将直接影响每个节点的特定功率范围内的邻节点数量。改变 fOT 的值则可以调整信息分发业务（通常在起始阶段设置）。

为考虑移动节点发送和接收性能的差异，PGB 算法定义了两个额外的域，需要被每个发送节点包含：发射功率（ txP ）和接收门限（ $rxTh$ ）。接收节点根据这些域能够预测最大发送范围，并检测信号损失。

在对分组进行重传之前，节点将等待直至其暂缓期满。暂缓期与节点所属分组有关，最高优先级的分组对应的暂缓期最短。利用 GPS 或其他定位系统，判决过程可进行优化，这主要是因为每个节点在暂缓期侦听其他节点广播时，能够重构每个发送节点及其前置节点（predecessor）的位置。

为了避免 RREQ 丢失，每个重传 RREQ 的节点都在分组中添加了 ID 和前置节点、当前节点的位置。节点由于知晓其自身局部位置，因而能够确定同一 RREQ 的每个接收副本的三角高度。如果该三角高度低于某个特定门限（定制化参数），分组将被丢弃。

正常情况下，OUT 组的节点只负责验证 PG 组节点的传输是成功的并被继续转发。如果 PG 组节点的传输没有抵达任何节点，OUT 组的节点将重传该分组。

如果 PG 和 OUT 组都没有节点，那么分组最终被 IN 组的节点重传。如果 IN 组的某个节点接收到了来自另外一个具有不同前置节点或三角高度低于特定门限的节点的同传输，它将丢弃之前接收到的分组。

文献 [14] 的作者提出了一种自动路由优化策略，允许在 PGB 算法中进行跳分离和跳合并。该策略主要受益于维持被中断的广播以及避免冗余重传。

当两个节点间的距离增加以至于连接质量变得较差时，就执行跳分离。该操作由各个中间节点执行，这些节点将侦听传输并比较来自两个节点的信号功率等级。它将检测接收功率是否足够大，以至于当前节点能与两个节点有效通信，若检查结果为“是”，将会创建新的路径。

当两个节点的距离变短以至于无须经过中间一跳或多跳节点转发也没有信号质量损失时，就执行跳合并。各节点需要更新其路由表。

5.2 安全多跳路由

接下来的章节将介绍对现有多跳路由协议进行修改和增强以提供安全路由，也就是对路由机制和路由数据进行保护以对抗操纵和窃听。

5.2.1 ad hoc 网络认证路由（ARAN）

ARAN 与 AODV 类似 [8]，但使用了预设的机密证书以提供消息完整性和不可抵赖性。ARAN 设计的初衷是保护网络免受 ad hoc 网络（无基础设施）中的恶意攻击。ARAN 的原理是使用基于公钥机制的可信证书服务器。每个节点都从服务器上

获取一个证书并向其他节点提供自身认证。该证书包含了当前节点的 IP 地址、公钥以及证书创建和过期时间。

每个节点都可以触发路由发现分组 (RDP, route discovery packet), 该分组封装了如下信息: 目的节点及其证书、随机数 N 和时间戳 t , 所有参数都用当前节点的私钥进行了数字签名。所谓的随机数用于唯一标识一个 RDP。每个转发分组的节点都要验证之前节点的签名, 并从分组中移除该签名和证书, 每个转发节点还要记录之前节点的 IP 地址, 之后对分组进行签名并应用当前转发节点的证书。

与 AODV 算法类似, 一旦接收到 RDP, 目的节点将向源节点单播一个签名的响应分组 (REP, Reply Packet)。类似的技术将被重复使用 (如每个节点都要验证之前节点的签名等)。

与 AODV 算法类似, 当在某条路由的特定生命周期内没有传输发生时, 该路由将从路由表中删除。对应的错误恢复机制通过向源节点发送签名的错误消息 (ERR, signed error message) 实现, 该消息将宣告路由中断。

总而言之, ARAN 阻止了路由欺诈、消息篡改 (如改变 TTL 值) 和虚假路由请求 (利用随机数和时间戳)。与 AODV 的性能相比, [8] 的作者认为尽管增加了安全特征, ARAN 在路由发现和维持方面仍然表现出了良好的性能。不幸的是, ARAN 的综合性能较差, 主要原因是 ARAN 进一步恶化了 AODV 自身存在的问题, 并且对每个分组进行数字签名也增加了打包和处理开销。

5.2.2 安全 ad hoc 按需矢量 (SAODV, Secure ad hoc on Demand Vector)

SAODV 是 AODV 的安全扩展 [8]。与 ARAN 类似, SAODV 的主要目标是 AODV 路由信息的完整性保护、认证和不可抵赖性。安全机制使用了数字签名和哈希链, 数字签名用于消息中不可变部分的认证, 而哈希链主要解决消息中可变部分的安全问题 (比如跳数)。哈希函数利用了发送 RREQ 或 RREP 消息时产生的随机数、标识符, 此外还包含了最大跳数计数器。利用这种方式, 接收节点能够校验每条消息的跳数。

它需要使用数字签名保证消息中不可变部分的完整性, 这主要是通过对除跳数和哈希域之外一切内容进行签名来实现。

尽管上述两种安全机制在安全方面表现良好, 但如果路由过新, 中间节点不能够响应 RREP 消息 (由 AODV 的特征所决定)。为了解决这一问题, 有两种可能的思路, 其一是忽略该路由, 每个节点只是转发独立于该路由的 RREQ; 第二种解决思路是维持该路由, 但是当节点生成 RREQ 时, 要同时包含 RREP 标志、前缀长度和消息签名, 以使得中间节点能够在特定路径上将其路由至目的节点。然而, 第二种解决思路需要额外的开销。

SAODV 由 AODV 的基础上扩展而来, 与 AODV 具有相似的性能特征。如同

ARAN 方法，由于使用了非对称加密，每个分组需要更长的处理时间，从而导致 AODV 中存在的问题被进一步放大了。

5.2.3 安全链路状态路由协议 (SLSP, Secure Link State Routing Protocol)

SLSP 提供安全的预防式路由 [8]。它采用了单向哈希链（用于维护跳数信息）以及用于保护拓扑发现和链路状态信息分布的非对称加密技术。SLSP 需要使用可信证书，该证书可由部分节点联盟或第三方服务器提供。

为了保护拓扑发现和链路状态更新 (LSUs, Link State Updates) 分布，SLSP 在 ad hoc 网络中采取了一系列措施：

- 删除或限制不存在的、虚构的链路。
- 阻止节点伪装。
- 增强邻节点发现的鲁棒性。
- 利用节点评级机制防止洪泛攻击，主要基于节点优先级实现（生成 LSUs 较少的节点具有更高优先级）。

节点需维护预设跳数范围内的邻节点的拓扑信息，这些互相连接的节点构成了一个区域，节点需要在该区域内设置并发送其 LSU。对跳数进行认证的单向哈希函数可用于阻止分组被发送到区域之外。节点必须在区域内定期发送公钥，以维持拓扑变化时新节点的日期键。

SLSP 定义了邻节点查询协议 (NLP, Neighbor Lookup Protocol)，该协议包含三个主要功能：

- 维护邻节点的 MAC 和 IP 地址映射。
- 标识不一致（例如单一数据接口对应多个 IP）。
- 评估每个邻节点接收到的控制分组流量（防止 DOS 攻击）。

由于该协议利用了非对称加密，它也需要额外的处理功率。

5.2.4 安全位置辅助 ad hoc 路由 (SPAAR, Secure Position Aided ad hoc Routing)

SPAAR 利用位置信息为移动 ad hoc 网络提供更优的效率和安全性。该算法设计时将安全作为顶层需求考虑，利用地理位置信息进行转发判决。与 CBF 类似，SPAAR 削减了路由消息的数量。对于安全性，该算法使用了非对称加密技术以最小化甚至杜绝来自被盗节点的攻击。

每个节点需要维护以下信息：

- 全局密钥对：一个公钥，一个私钥。
- 局部密钥对：一个公钥，一个私钥，用于和邻节点通信。
- 可信证书服务器。

- 证书服务器的公钥。

该算法可提供完整性保护、认证和不可抵赖性等安全机制。

类似于 AODV 算法，每个节点都可以发送 RREQ 或 RREP 消息，每条消息都使用局部私钥签名，并使用邻节点的局部公钥加密。每个节点都能够验证消息是否为一跳邻节点所发。另外，目的节点也能验证源节点的标识。

该方法需要每个节点发送及存储一系列信息：

- 一跳邻居表。
- 最近向其转发过分组的目的节点列表。
- 用于快速检测拓扑变化的周期性身份消息。
- 局部请求。
- 局部响应。

上面两个表的唯一区别是目的节点表必须存储节点速率信息以预测其相对于第一张表节点的下一刻位置，其中位置可通过表更新消息直接交互。

如果某个节点没有到目的节点的表项，它将广播位置请求，若任意收到请求消息的节点知晓被请求节点的位置，就回发一个位置响应消息。

该机制在安全方面是非常高效的，但其端到端通信和跳到跳通信都采用了非对称加密，处理时间将翻倍，然而由于采用了基于地理位置的路由，其综合开销是下降的。

参考文献

1. T. Kosch, Technical concept and prerequisites of car-to-car communication, München: BMW group research and technology, <http://www.car-to-car.org>
2. M. Torrent-Moreno, F. Schmidt-Eisenlohr, H. Füßler, and H. Hartenstein, Packet forwarding in VANETs, the complete set of results, Karlsruhe, Germany, 2006
3. X. Ma and X. Chen, Performance analysis and enhancement of safety applications in DSRC vehicular ad hoc networks, 2007
4. A. Quintero, D.Y. Li, and H. Castro, A location routing protocol based on smart antennas for ad hoc networks, 2006
5. D. Gada, R. Gogri, P. Rathod, Z. Dedhia, N. Mody, S. Sanyal, and A. Abraham, A distributed security scheme for ad hoc networks
6. P.M. Melliar-Smith and L.E. Moser, Progress in real-time fault tolerance, Santa Barbara, CA, IEEE 2004
7. H. Füßler, J. Widmer, M. Mauve, and H. Hartenstein, A novel forwarding paradigm for position-based routing (with implicit addressing), Germany, 2003
8. E. Fonseca and A. Festag, A survey of existing approaches for secure ad hoc routing and their applicability to VANETS, NEC network laboratories, March 2006
9. C. Lin, AODV routing implementation for scalable wireless ad-hoc network simulation (SWANS)
10. C.E. Perkins et al., Ad hoc on demand distance vector (AODV) Routing, RFC 3561, July 2003
11. X. Jiang and T. Camp, A review of geocasting protocols for a mobile ad hoc network, Colorado, 2002

12. K. Kuladinithi, A. Timm-Giel, and C. Görg, Mobile ad-hoc communications in AEC industry, 2004
13. Y. Sakurai and J. Katto, AODV multipath extension using source route lists with optimized route establishment, Japan, IEEE 2004
14. V. Naumov, R. Baumann, and T. Gross, An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces, Zurich, 2006
15. C. Lochert, H. Füßler, H. Hartenstein, D. Hermann, J. Tian, and M. Mauve, A Routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments, Germany, 2003
16. V. Naumov, R. Baumann, and T. Gross, An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces, ACM 2006
17. K. Sanzgiri, D. LaFlamme, B. Dahill, B.N. Levine, C. Shields, and E.M. Belding-Royer, authenticated routing for ad hoc networks, IEEE 2005
18. A. Ho, Y. Ho, and K. Hua, A connectionless approach to mobile ad hoc networks in street environments, USA, 2004
19. Y. Ho, A.H. Ho, K. Hua, and G. Hamza-Lup, A connectionless approach to mobile ad hoc networks, Florida, USA. IEEE computer society, Los Alamitos, CA, 2004
20. Y. Ho, A.H. Ho, K. Hua, and T. Do, Adapting connectionless approach to mobile ad hoc networks in obstacle environment, Florida, USA, IEEE 2006
21. B. Zhou, Y.Z. Lee, M. Gerla, and F. de Rango, Geo-LANMAR: a scalable routing protocol for ad hoc networks with group motion, Wiley, New York, 2006
22. G. Mulas, A. La Piana, F. Cau, P. Iodice, A. Tamoni, and S. Antonini, A multi-hop MANET demonstrator tested on real-time applications, IEEE, 2005
23. S.M. Das, H. Pucha, and Y.C. Hu, Performance comparison of scalable location services for geographic ad hoc routing, IEEE, 2005
24. V.C. Giruka and M. Singhal, Hello protocols for ad-hoc networks: overhead and accuracy tradeoffs, IEEE, 2005
25. B. Karp and H.T. Kung, GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks, MobiCom, 2000
26. J. Li, J. Jannotti, D.S.J. De Couto, D.R. Karger, and R. Morris, A scalable location service for geographic ad hoc routing. In Proceedings of the MOBICOM'2000, Boston, 2000
27. M. Käsemann, H. Hartenstein, H. Füßler, and M. Mauve, Analysis of a location service for position-based routing in mobile ad hoc networks, Germany, 2002
28. H. Hartenstein, M. Käsemann, H. Hartenstein, H. Füßler, and M. Mauve, A simulation study of a location service for position-based routing in mobile ad hoc networks, 2002
29. B.A. Ihle, Grid location service, BTU Cottbus, 2004/2005
30. A. Helmy, G. Grewal, S. Pradhan, S. Sharma, and V. Alatzeth, A comparative study of mobility prediction schemes for grid location service (GLS), California
31. N.K. Guba and T. Camp, GLS: a location service for an ad hoc network
32. H. Hartenstein, M. Käsemann, H. Hartenstein, and H. Füßler, A reactive location service for mobile ad hoc networks, 2002
33. I. Keidar, R. Melamed, and Y. Barel, Octopus: a fault-tolerant and efficient ad-hoc routing protocol, Technion, 2005
34. R. Melamed, Scalable services for dynamic wide-area environments, 2006
35. M. Käsemann, H. Füßler, H. Hartenstein, and M. Mauve, A reactive location service for mobile ad hoc networks, Germany, 2002
36. C.J. Adler, Information dissemination in vehicular ad hoc networks, München, 2006
37. L. Itkin, E. Gurevich, and I. Vaisband, OCTOPUS scalable routing protocol for wireless ad hoc networks, 2005

第 6 章 车用通信媒质接入

6.1 概述

媒质接入控制层协议 (MAC, Medium Access Control) 由一系列规则组成, 以确保节点知晓何时传输消息, 何时不传。消息对应应有生命周期, 在生命周期之内可以进行传输和重传, 之后将被丢弃 [1, 2]。MAC 协议用于解决接收端的冲突问题, 协议设计的目标是获得较高的接收可靠性和较低的时延 [1]。

每个发送和接收到的分组的时间戳是一个关键因子, 这需要时间同步参考信号, 有两种不同的时间同步方法可以采用 [3]。

- 基于 GPS 的方法: 该方法使用了全球知名的来自于卫星的时间信息。卫星面板上的铷或铯晶振参考了协调世界时 (UTC, Coordinated Universal Time), 可提供绝对误差远低于 $1\mu\text{s}$ 的高可靠性时间参考源。当然, 该精度只有在 GPS 未受干扰时才能提供, 否则只能靠本地晶振的稳定性提供。
- 无中心方法: 该方法利用了各个独立节点间的互调。文献 [3] 中建议了一种机制, 可避免常规的系统时间漂移 (若距离低于 1000m, 误差可在 $5\mu\text{s}$ 以下)。

一个特定的 MAC 协议用于支持双向通信, 此外还有其他基于位置的通信机制, 具体介绍如下。

6.2 支持双向通信的 MAC 协议

在经典的双向 MAC 协议中 (图 6-1), 首先由发起节点 (车辆 X) 根据需要选择响应节点 (车辆 Y)。在控制信道中, 握手过程始于发送端向接收端发送 RTS (Request-to-Send) 分组, 接收端使用 CTS (Clear-to-Send) 分组进行响应, 在接收到 CTS 分组后, 发送端开始传输数据。RTS-CTS 握手的目标是通知发送端和接收端的邻节点, 同时避免在接收端准备好之前发送数据。尽管这称为带碰撞避免的载波侦听多路接入机制 (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access with Collision

Avoidance) [4], 它只是降低了碰撞概率, 并没有完全消除。完成握手之后, 发起节点发送数据, 并等待来自响应节点的确认。由于信息传输是双向的, 响应节点也可以向发送节点传输数据。双向传输需要使用两路数据通道 [5], 这种传输方式称为全双工或频分双工。

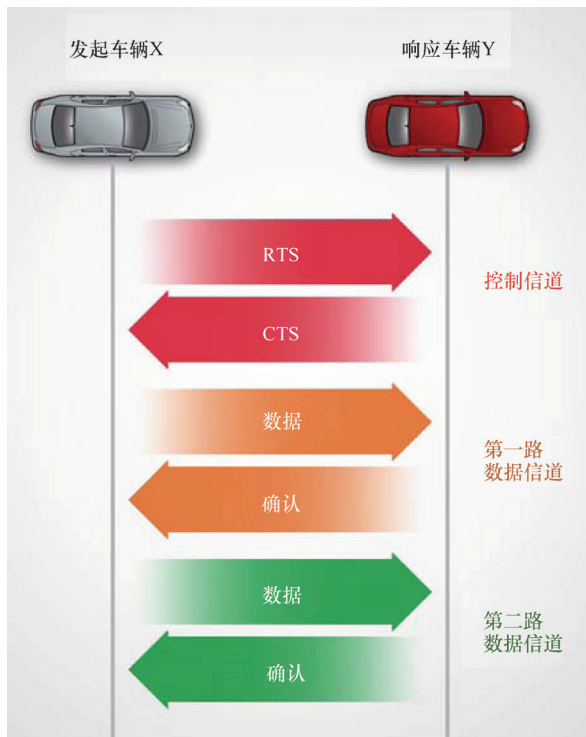


图 6-1 经典双向 MAC 协议

经典的双向 MAC 协议主要应用于诸如供应商业务、ad hoc 业务等非关键场景。

为提供关键安全应用的快速连接, 快速双向 MAC 协议 (图 6-2) 消除了 RTS/CTS, 因而控制信道只包含了一种 FBT (Fast Bidirectional Transmit) 分组, 以通知接收端必要时建立快速双向连接 (例如突发事故)。与上文类似, 使用了两路数据信道以支持快速、并发双向传输 (全双工)。

6.3 基于位置的通信机制

在基于位置的机制中, 接收端的反馈会带来诸如时延和开销等新的通信问题, 因此信息确认被略过了 (参见图 6-3) [2]。当有多个接收节点或者网络处于高移动性状态时, 获知标识本身就需要较大带宽。为了尽可能快地进行通信, 车辆并不提供认证和关联过程。

在基于位置的机制中, 消息有特定的更新速率, 这意味着接收有一定的概率。



图 6-2 快速双向 MAC 协议



图 6-3 基于位置的 MAC 协议

有两种类型的消息会采用这种方式发送：警告和永久信标。

在车联网中 [6]，由于多个移动节点共享同一媒质，接入到公共信道时必须采用分布式的方式，并考虑移动性、隐藏终端和暴露终端等问题。这些问题进一步阐述如下。

有两种性能度量指标：接收概率（分组成功投递率）和信道繁忙时间。

接收概率受各种因素的影响，包括覆盖范围、节点移动性、节点密度和信道

缺陷等[7]。信道缺陷是指所传输分组内的每1bit都会遭遇固定的出错率。研究发现固定比特错误率随着分组大小和节点移动性的增加而上升。分组成功投递率(PDR)理论上为1,但如果没有确认信息,这几乎是不可能的。因此,文献[8,9,7]针对安全应用提出了PDR最小为0.95的需求。

用1减去PDR可得到失败概率 $PF(L, t)$ 。在ad hoc网络中,对于给定传输范围 L 和消息生命周期 t , $PF(L, t)$ 表示由随机车辆发送的随机消息在时间 t 内不能被距离为 L 的随机接收车辆所成功接收的概率。 PF 与发送端和接收端的距离成正比。

信道繁忙时间(CBT, Channel busy time)是衡量DSRC控制信道性能的一个重要指标[1]。CBT定义为信道被占用(成功传输或产生冲突)的时间比例,这期间信道不能被其他应用所使用。

$$CBT = \frac{T_{\text{safety}}}{T} \quad (15)$$

式中, T 表示控制信道总的时间周期; T_{safety} 表示安全类应用所占用的时间。

理想情况下, PF 和 CBT 应该尽可能低[2]。

车辆安全类应用将产生发送至其他车辆的消息。消息被传递至MAC层。MAC协议针对车辆何时发送、何时静默定义了一组规则,它只在消息的生命周期内尝试广播分组,而当生命周期超时后丢弃分组[1,2]。MAC协议用于解决接收端的冲突问题。

图6-4解释了重复传输的概念[2]。在每个发送节点,协议将消息生存期划分成了 n 个时隙,时隙数目 n 由下式决定:

$$n = \left\lfloor \frac{t}{t_{\text{trans}}} \right\rfloor \quad (16)$$

式中, $\lfloor x \rfloor$ 表示不超过 x 的最大整数; t 是生命周期; t_{trans} 表示发送一个分组所需的时间。

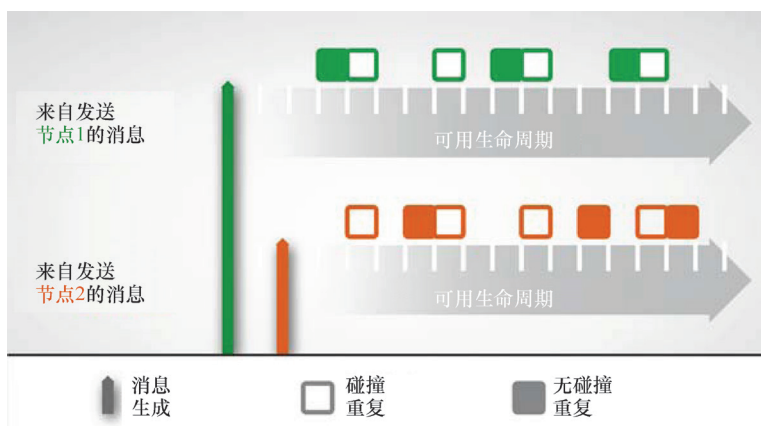


图 6-4 接收端碰撞问题

若至少有一个分组被接收到且未发生碰撞，就意味着消息被给定的接收端成功接收了。如果所有重传分组都由于冲突导致丢失，则意味着消息传输失败。为防止碰撞，作为 DSRC MAC 协议的基础，802.11a 的 MAC 层使用了分布式协同功能 (DCF, distributed coordination function)。DCF 是一种基于 CSMA/CA 的随机接入方案，适用于簇内（术语叫基本业务集）的所有相关设备。DSRC MAC 广播机制如图 6-5 所示。

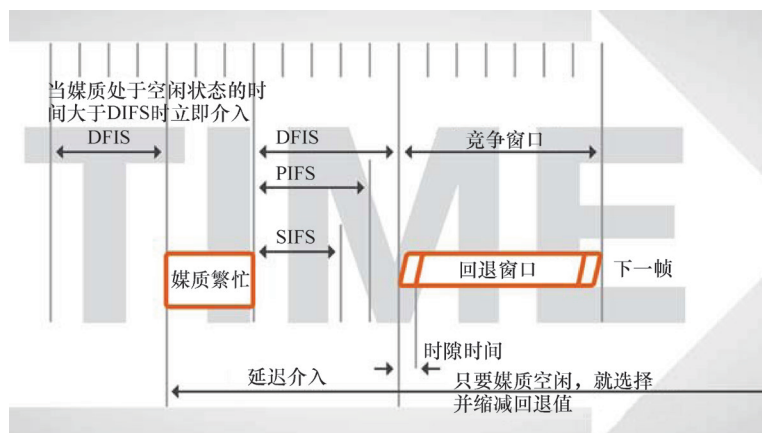


图 6-5 DSRC MAC 方案

文献 [7] 中介绍的 DSRC MAC 层参数如下：

- 时隙时间 σ : $16 \mu\text{s}$ 。
- 802.11a 分布式帧间隔 (DIFS, Distributed Interframe Space): $64 \mu\text{s}(\text{SIFS} + 2\sigma)$ 。
- 802.11a 短帧间隔 (SIFS, Short Interframe Space): $32 \mu\text{s}$ 。
- 传播时延 δ : $1 \mu\text{s}$ 。
- 前导长度: $40 \mu\text{s}$ 。
- PLCP 头长度: $8 \mu\text{s}$ 。
- 最小回退窗口大小 (CWMin, minimum backoff window size): 15。
- 最大回退窗口大小 (CWMax, maximum backoff window size): 1023。

文献 [13] 中明确了与 802.11a MAC 不同的参数。

DSRC 广播过程遵循 DCF 介质接入协议 [7, 13]，不含确认和重传功能，其结果是当前回退窗口始终为常数。在 DCF 方案中，节点在传输之前首先利用载波侦听机制监测介质是否忙。如果介质处于空闲状态，将立刻启动发送；反之，如果介质处于忙状态，则节点必须等到介质转为空闲且在 DIFS 周期内没有中断。此后，只要介质处于空闲状态，就发起随机回退过程，并选择一个随机数作为回退定时器 (BC, backoff timer) 的值，回退过程结束后将激活传输。BC 的值每个介质空闲时隙都减小 1，当 BC 减为 0 时，就启动传输。在回退计数过程中，持续

进行载波侦听，一旦媒质被监测到处于忙状态，BC 就会暂停，只有当媒质处于空闲状态且持续时间超过 DIFS 周期，BC 才能继续计数。因而回退时间可由下式表达 [13]：

$$\text{Backoff Time} = \sigma \times \text{Random}[0, \text{CW}] \quad (17)$$

回退过程的定时被每个处于竞争窗口 (CW, Contention Window) 的节点维护。Random[0, CW] 是一个在区间 [0, CW] 内均匀分布的随机数，CW 的取值介于 CWMin 和 CWMax 之间。如果媒质处于空闲状态超过 SIFS 周期（短于 DIFS），接收端可启动接收。传完一帧之后，节点将启动另外一个回退过程。

只要涉及的节点在侦听范围之内，DSRC MAC 采用的 CSMA/CA 方案就能够最小化碰撞概率 [7, 11, 12]。不幸的是，由于 ad hoc 网络中存在隐藏终端问题，上述假设并不成立。隐藏终端问题在多播情况下比单播更为显著，参考图 6-6 的解释 [7, 11]。位于接收车辆 R 的覆盖范围内，但位于发送车辆 S 的覆盖范围（阴影区域）外的节点会引发隐藏终端问题。请注意图 6-6 展示了 4 个接收节点以表明这是多播场景。

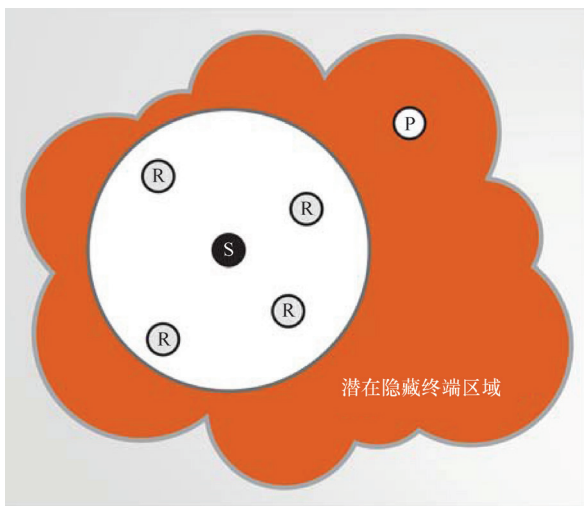


图 6-6 多播环境下的隐藏终端问题 [7, 12, 4]

在这种情况下，车辆 S 正在广播数据，车辆 R 在接收范围内而车辆 P 不在，由于后者没能意识到正在进行的通信，它有可能也会启动数据传输，这就会导致两个发送站点的消息在车辆 R 处发生碰撞。据我们所知，目前还没有能够解决多播通信场景下的隐藏终端问题的有效方案，因此总是假设碰撞存在。

DCF 也不能提供可预测的服务质量 (QoS, quality of service) [7, 13]。开发一个鲁棒且高效的 MAC 协议是新一代 DSRC 设备的需求。如文献 [13] 所述，一种可能的解决方案是使用增强 DCF (EDCF, Enhanced DCF)。在 EDCF 中，有不同 QoS 需求的业务被分为不同的接入类 (AC, Access Categories)，EDCF 的竞争机制

与 DCF 类似, 差别在于每个 AC 使用了不同的 CW 和 DIFS 值。车用通信与传统的 WLAN 网络不同, 某些应用(如前向碰撞预警)对时延有更严格的需求。通过比较 DCF 和 EDCF 的时延、吞吐量性能发现, EDCF 表现出了更好的性能。不幸的是, 最重要的 QoS 指标 PDR 没有进行测试。

消息中所包含的信息通过分组传递给其他车辆, 分组中必须包含发送车辆位置、接收车辆位置、事件类型等。传输一个分组所需的时间取决于分组大小和数据传输速率。

如文献[10]所述, 对消息内容的使用是非常有益的。通过设置消息优先级, 也称为传输相关性, 可度量每个节点发送队列中消息的局部发送顺序。因而基本机制是给定共享媒质中特定消息的优先级。竞争基于消息的相关性展开。最相关的消息将胜出并优先发送。图 6-7 给出了一个包含 3 部车辆的应用相关性函数的例子。在这个例子中, 车辆 V1 计算得到最高的燃油消息相关性 0.9, 因此车辆 V1 具有最高优先级和最短的回退定时器(定时器反比于相关性)。



图 6-7 基于内容的消息相关性

基于相关性的方法使得创建一个场景自适应的自组织系统成为可能, 该系统可不断适应当前上下文, 因而在车辆 ad hoc 网络中具有极大的优势。由于利用消息的相关性能控制可用带宽, 系统的综合性能将得到提升。

如果用于发送警告类型消息的公共信道被所有车辆共享且按需分配, 那么就需要引入基于相关性的竞争机制。该机制在任意时刻都能决定哪个节点具有信道接入权。对于信标消息, 由于其并不指示任何事件且具有类似的相关性, 不大可能为其定义优先级。由于预测的传输范围是 1000m 左右, MAC 层的消息碰撞是主要挑战。

上述问题的一种解决方案是使用不同频率的子载波同时传输, 具体参见下一章。

参考文献

1. Q. Xu, T. Mak, J. Ko, and R. Sengupta, MAC protocol design for vehicle safety communications in dedicated short range communications spectrum, California USA
2. Q. Xu, T. Mak, and R. Sengupta, Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC, Pennsylvania, 2004
3. A. Ebner, L. Wischhof, H. Rohling, R. Halfmann, and M. Lott, Time synchronization in highly dynamic ad hoc networks
4. W. Ye and J. Heidemann, Medium access control in wireless sensor networks, October 2003
5. T. Kuang and C. Williamson, A bidirectional multi-channel MAC protocol for improving TCP performance on multihop wireless ad hoc networks, October 2004
6. J. Lee, Y. Tscha, and K. Lee, Medium access control protocol using state changeable directional antennas in ad-hoc networks, 2003
7. X. Ma and X. Chen, Performance analysis and enhancement of safety applications in DSRC vehicular ad hoc networks, 2007
8. M. Torrent-Moreno, F. Schmidt-Eisenlohr, H. Füßler, and H. Hartenstein, Packet forwarding in VANETs, the complete set of results, Karlsruhe, 2006
9. S. Yousefi, A. Benslimane, and M. Fathy, Performance of beacon safety message dissemination in vehicular ad hoc network
10. C.J. Adler, Information dissemination in vehicular ad hoc networks, München, 2006
11. A. Meier, 5.9 GHz dedicated short range communication – design of the vehicular safety communication architecture, 2005
12. J. Zhu and S. Roy, MAC for dedicated short range communications in intelligent transport system, IEEE, 2003
13. X. Xia and Z. Niu, Performance of EDCF Mac scheme for future multi-service DSRC based road-to-vehicle communication systems, in ITS, IEEE, 2004

第 7 章 物理层技术

尽管 IEEE802.11b 一直宣称已经具备了智能交通系统 (ITS, Intelligent Transportation Systems) 中支持高速移动通信的能力, IEEE 仍然引入了一个新的标准: 802.11p[1]。802.11p 的底层是后续提出的专用短程通信 (DSRC, Dedicated Short Range Communications) 的基础, DSRC 包含了 V2X 通信。美国的频谱 (5.850 ~ 5.925 GHz) 分配工作于 2004 年完成, 而在欧洲, 范围在 5.875 ~ 5.905 GHz[2] 的频段于 2008 年 8 月被欧盟的 DSRC 所采纳。现如今, 新成立的车载环境无线接入研究组 (WAVE, Wireless Access in Vehicular Environments) 致力于研究 802.11 标准向 802.11p 标准的演进 [3, 4]。WAVE 研究组的工作范畴包含多项标准: 确定系统通信架构的 IEEE P1609.3、IEEE802.11p、IEEE P1609.1、IEEE P1609.4, 以及聚焦于架构细节的 IEEE P1609.2。802.11p 的物理层与 IEEE802.11a 的物理层采用了相同的帧结构、调制方式和训练序列 [3-5]。

在通信半径所限定的较小通信区域内, DSRC 相较于蜂窝通信能够提供更高的传输速率和更低的传输时延 [6]。它将支持移动速率达 200km/h 的节点间的通信 [7, 8]。新一代 802.11p 除需满足上述特征外, 包括路径损耗和衰落在内的常规无线问题也需要被最小化 [3-5]。路损主要是指环境导致的信号强度变化, 有可能比自由空间衰减地更快或更慢, 衰落主要是指影响信号强度的多径效应。

DSRC 的物理层采用了正交频分复用 (OFDM, orthogonal frequency division multiplex) 调制方案进行数据复用 [3-5], 该技术的工作原理是将无线信号分割成更小的子信号, 这些子载波在频率上互相交叠, 但在设计上保证了彼此间不相互干扰: 子载波彼此正交并采用快速傅里叶变换 (FFT, Fast Fourier Transform) 算法进行分离。采用 OFDM 的主要原因是其较高的频谱效率 [5]、在多径衰落环境下的良好性能以及简单的收发信机设计。除降低多径干扰之外, 它实际上可以利用反射径数据增强信号强度从而提高增益。该技术也能够提升非直视场景 (发送端和接收端彼此无法直视) 下的发送性能。OFDM 将输入数据流分成了一组并行的比特流, 每一路比特流映射到一组互相交叠的正交子载波以进行数据调制和解调。所有正交子载波将同时发送。

正交频分复用多址接入 (OFDMA, Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) 通过将子载波子集分配给不同用户, 实现多个用户的共享接入。理论上, 可以在数千个子载波上进行子信道划分。

车辆的高移动性会带来两个负面影响 [3]: 消息接收失败或分组出错。第一个问题的原因是在安全相关消息发送期间, 部分接收节点可能已经移动到发送节点的传输范围之外。第二个问题是指高移动性导致了 OFDM 系统中较差的多普勒频移扩展, 从而引发较高的分组错误率和较差的信道质量。

如文献 [3-5] 所述, 为支持安全和非安全类应用, 美国的 DSRC 设计了 6 条业务信道和 1 条控制信道, 共计 7 条信道 (每条信道 10MHz 带宽)。消息具有不同的优先级: 低 (非安全类消息, 例如地图更新通知等) 或高 (安全类消息)。这些消息应用于由所有车辆监测的控制信道。业务信道则用于传输实际应用, 例如传输由控制信道通知的地图更新。

需指出, 预警告报在物理层使用了与永久信标不同的信道发送, 与之类似, 双向信息也采用了与双向自主信息不同的信道发送。

为了支持家庭和热点接入 (舒适性应用), 除 802.11p 之外, 还需要支持 802.11a/b/g [9], 这意味着设备必须同时支持两个频段。

部分 802.11 系列规范列示于表 7-1 [7, 10, 11, 4]。

表 7-1 IEEE 802.11 规范

Wi-Fi 标准	调制方式	频率 /GHz	信道带宽 /MHz	总信道/非重叠信道	带宽 (最大) / (Mbit/s)	传输范围 (户外)/m
802.11a	OFDM	5.225 ~ 5.850	20	12/8	54	30
802.11b	DSSS	2.400 ~ 2.485	22	14/3	11	250
802.11g	OFDM	2.400 ~ 2.483	22	14/3	54	250
802.11pUS	OFDM	5.850 ~ 5.925	10 (20)	7/7	54	1 000
802.11pEU	OFDM	5.875 ~ 5.905	10	7	54	1 000

传输范围有可能超过表中所列示的值, 但代价是传输带宽会下降 (例如 802.11a 可支持 350m 的传输范围, 但传输带宽会降为 6 Mbit/s) [11]。

美国 DSRC 的技术特征如下 [3, 4, 12, 13, 5, 14, 15]。

- 带宽: 75MHz (5.850 ~ 5.925GHz)。
- 保护信道: 5MHz, 在低端预留。
- 信道: 7 条互不重叠的 10MHz 信道 (图 7-1)。控制信道 (178) 主要用于广播安全相关的通信内容, 非安全相关的数据交互则严格限制其传输时间和间隔。车车信道 (172) 和车路信道 (184) 专用于传输安全相关应用。剩余的 4 条业务信道 (174, 176, 180, 182) 可被合并为两条 20MHz 的信道, 用于共享型安全相关应用。

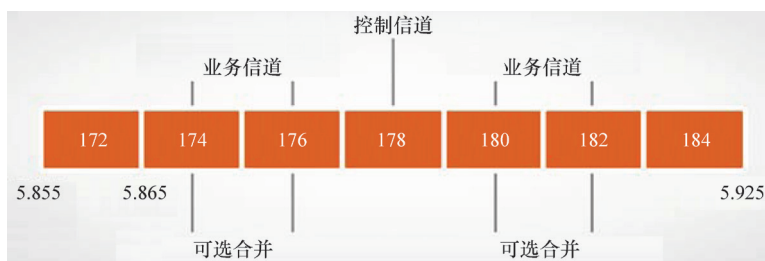


图 7-1 美国 DSRC 频谱分配 [3, 12, 13]

- 调制方式：支持 BPSK、OFDM、QPSK、OFDM、16-QAM OFDM、64-QAM OFDM。头部 128bit 总是使用 BPSK 调制。根据 [3, 5] 的描述，QPSK 在各种分组大小条件下均能取得比 BPSK 和 16-QAM OFDM 更优的性能。
- 编码速率：1/2、2/3、3/4。
- 子载波数量：64（其中只有 52 个子载波用于信号传输）。
- OFDM 符号持续时间：8.0 μ s。
- 数据速率：10MHz 带宽下支持 6、9、12、18、24 和 27 Mbit/s（包括 3Mbit/s 前导码），或者 20MHz 带宽下支持 6、9、12、18、24、36、48 和 54 Mbit/s（包括 6Mbit/s 前导码）。
- 功率（传输范围）：通常小于 33dBm（2W），但对控制信道传输的授权安全应用可支持 44.8dBm（30W），理论上安全消息广播的传输范围可达到 1000m。只有控制信道（44.8dBm）和“十字路口”信道（40dBm）用于 1000m 的长距离传输（来自于紧急车辆或 RSU 的特殊消息），其他信道的传输距离则为 330m（碰撞避免、道路状况等）。为最小化干扰，功率应根据车辆的行驶速度进行调整。天线需要被安装在车顶以获得 360° 水平模式，并安置在车辆中间位置以支持等距通信。应注意，欧洲标准将最大发射功率限制为 33dBm。
- 最小间隔：15m（小区域信道）。

车用通信中使用的硬件包括车载单元（OBU, OnBoard Units）、路侧单元（RSU, RoadSide Units）、全向天线和传感器。

参考文献

1. G. Segarra, Activities and applications of the car 2 car communication: the Renault vision, <http://www.car-to-car.org>
2. <http://www.car-to-car.org>
3. X. Ma and X. Chen, Performance analysis and enhancement of safety applications in DSRC vehicular ad hoc networks, 2007
4. A. Meier, 5.9 GHz dedicated short range communication – design of the vehicular safety communication architecture, 2005

5. J. Yin, T. ElBatt, G. Yeung, B. Ryu, S. Habermas, H. Krishnan, and T. Talty, Performance evaluation of safety applications over DSRC vehicular ad hoc networks, USA, VANET, 2004
6. Q. Xu, R. Sengupta, and D. Jiang, Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 GHz dedicated short range communication spectrum, USA
7. <http://standards.ieee.org/board/nes/projects/802-11p.pdf>
8. T. ElBatt, S. Goel, G. Holland, H. Krishnan, and J. Parikh, Cooperative collision warning using dedicated short range wireless communications, ACM, VANET, 2006
9. T. Kosch, Technical concept and prerequisites of car-to-car communication, München: BMW group research and technology, <http://www.car-to-car.org>
10. C. Ribeiro, Bringing wireless access to the automobile: a comparison of Wi-Fi, WiMAX, MBWA, and 3G, 2005
11. J. Moran, Wireless home networking – Wi-Fi standards, 2002, <http://www.smallbusinesscomputing.com>
12. J. Zhu and S. Roy, MAC for dedicated short range communications in intelligent transport system, IEEE, 2003
13. DSRC_Tutorial_06-10-021.ppt
14. J. Opiola and B.A. Hamilton, Vehicle infrastructure integration (VII) in the US – enhancing safety, enabling mobility
15. US Department of Transportation, Vehicle infrastructure integration (VII) – VII architecture and functional requirements version 1.1, 2005

第 8 章 安 全

8.1 概述

我们注意到所有的通信体制都需要可靠的安全 [1]。引入复杂安全机制的主要目的是保障车内乘客的人身安全。

为定义车用通信中的安全、隐私和信任，需涉及多个方面。对于安全和信任，系统及其主要设备必须受到保护，以对抗恶意攻击。

车用通信为驾驶人提供了以前不可能提供的拥有巨大优势的新型应用，但同时也为滥用和攻击创造了机会。车车通信系统安全的不利因素在于其采用了分布式 ad hoc 网络。这会影响基础安全框架，例如信任管理和密钥分发等。下文将给出一个关于车用通信必须被强力保障的简单但有说服力的例子。可以想象一下，如果一部车子可以在车联网的一大片区域内发布虚假信息，这会引发什么后果。

车联网安全的约束和目标包括可扩展性、移动性、低复杂度和低成本 [2, 3]。可扩展性是指当联网车辆数目增加（到百万量级）时，要有恰当的网络管理机制解决安全问题，需要解决的主要问题是要求最小化安全系统引入的开销。为支持高速移动场景（车辆相对速度可达 400 km/h）下的快速通信，安全算法引入的开销也必须尽可能小，车辆必须在相当短的时间周期内确定其所处环境（通过安全连接交换分组）。严格意义上讲，低复杂度因素就是要降低安全系统的复杂度，这在汽车领域是很有吸引力的。相对于可能产生高昂成本的复杂系统，这种简化也会促使成本降低。

安全机制的主要构成总结如下 [1, 2, 4, 5]：

- 安全架构。
- 保密通信。
- 隐私保护。
- 可信数据。
- 可信系统。

安全架构定义了安全系统为实现特定目标所需具备的主要功能，这些目标取决

于通信体制和应用类型。

保密通信是指通信信道的加密保护，包括密码原语和密钥管理。

参与者的隐私保护是指发送车辆的标识不能被反跟踪，用户标识受到保护，用户不应被链接到其通信所用的标识。

可信数据则是要对收到的信息定义信任级别，这意味着接收车辆要有一个可靠的机制去检测消息在传输路径上未被篡改，并且消息中的信息是正确的（消息完整性）。关键信息的一个例子是预防式应用中的移动数据。

可信系统是要定义环境的信任级别，这需要鉴别来源是否真实（发送节点是合法源）和系统是否被操控。其含义是指网络必须受到保护，以对抗包括拒绝服务（DoS, Denial of Service）、产生虚假消息在内的不同类型的攻击，DoS 将导致资源不能被合法用户使用。具体而言，引入了节点的不同认证级别（规定了网络所允许的每个节点的行为），例如，某个节点可能被限制为只允许在网络中插入特定类型的消息。

正如我们之前论述的，低时延（表示从源车辆到目的车辆的时延）是需要的，因此，产生较低开销的加密算法是比较合适的（例如非对称加密）。一种特殊的解决方案是使用可信第三方发布的 PKI 证书。

如文献 [6] 中所述，非对称加密是车联网中的最优加密方案，该算法还有其他优点，例如降低了密钥分发的复杂度，保障了不可抵赖性。作者同时得到结论，与真实性检查技术结合使用对解决暴露终端问题是非常有益的，这是由于该技巧不会影响车联网的综合性能，并且错误信息能够被检测和纠正。

车辆中采用的本地真实性检查 [2, 6] 包括将接收到的信息与内部传感器数据进行比较，或者评估来自于不同源节点的针对同一事件或场景的消息。仿真表明这种方法能显著增加攻击者的攻击难度，但需要针对每种特定应用建立恰当模型。应用于节点的常规系统校验能力有益于安全性，这种系统校验可减少故障单元的数量，且可以在必要时更新软件（安全修复）。

时间和位置信息也能对安全性产生积极影响 [2]。为增强安全性，必须引入只在某些关键位置允许对授权用户进行物理访问的限制。

8.2 安全架构

安全架构 [7] 至少应定义如下内容：相关关系人，威胁、漏洞和风险，功能和功能性需求，系统行为和系统组成。

相关关系人是指利用审计数据之类的信息来验证消息合法性和未被更改的发送节点和接收节点。另一组关系人被视为攻击者。

攻击者在威胁、漏洞和风险分析（TVRA, Threat, Vulnerabilities and Risks Analysis）中被识别和分类。威胁、漏洞和风险基于所定义的系统及其环境进行分

析，这就产生了安全系统的安全目标和功能性需求。

非功能性需求是综合性的系统功能，例如特定应用所需的低成本或最小化时延要求等。非功能性需求和功能性需求是彼此交织在一起的，例如预防式应用的安全方案如果选择错误会导致过大的时延或开销。

系统的组成及其行为是评估安全架构的两个视角。车用通信有各种安全架构，这些架构是基于 ad hoc 通信的安全业务的，其一般特征是通用的。因此，我们在图 8-1 中阐释了一个一般性的架构，类似于 [2, 8-10] 中的 NoW, [11, 12] 中的 SeVeCom, 以及 GST-SEC 子项目中的 GST[13]。

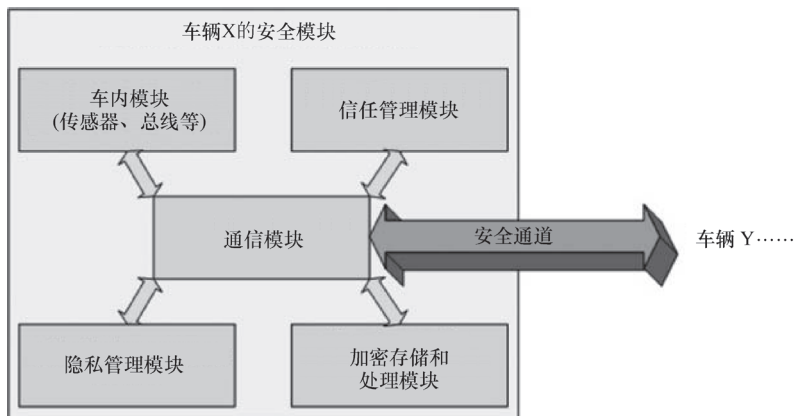


图 8-1 安全概念架构

上述五个安全模块在每个节点中都进行定义并构成了安全层。每个节点（例如车辆）都通过安全通道与另一节点相连（如 GST-SEC 子项目所述）。

通信模块用于解决车联网的安全通信问题，不同通信体制会有所区别。

信任管理模块负责管理所涉及节点的可信度和身份识别。该模块包括将 PKI 用于密钥和证书管理。加密存储和处理模块提供了安全密钥和证书存储，并提供高安全优先级存储功能（例如签名创建）。

隐私管理模块保护车辆用户，为其提供一定级别的隐私。这涉及两个方面：首先是保护用户和车辆之间的链路，然后是防止车辆位置跟踪。从技术角度讲，该模块利用了假名（例如认证的公钥）。

车内模块（In Vehicle Module）要防止车内系统（如传感器、总线等）被操纵。这个模块包含了防火墙和入侵检测，同时也包括了利用传感器信息、位置数据等进行本地真实性检查。

涵盖车辆安全通信的值得关注的项目包括 SEVECOM、ERTICO GST（GST-SEC）和 Network on Wheels（NoW）。这些项目在参考文献中有进一步的描述。结束于 2008 年的 NoW 项目 [8, 10] 是第一批关注车联网安全和隐私问题的项目，详细的工作包括位置验证 [2]、定位隐私和安全路由 [6, 9]。同样结束于 2008 年的欧洲项

目 SEVECOM[11, 12] 提供了假名、秘钥管理、存储和安全通信解决方案。其他始于2008年的项目包括:EVITA(E-safety Vehicle InTrusion protected Applications) [14] 和 PRECIOSA(Privacy Enabled Capability In cOoperative systems and Safety Applications) [15]。

参考文献

1. T. Kosch, Technical concept and prerequisites of car-to-car communication, München: BMW group research and technology, <http://www.car-to-car.org>
2. A. Aijaz, B. Bochow, F. Dötzer, A. Festag, M. Gerlach, R. Kroh, and T. Leinmüller, Attacks on inter vehicle communication systems – an analysis. In Proceedings of Third International Workshop on Intelligent Transportation, WIT 2006, Hamburg, Germany, March 2006
3. M. Gerlach, security challenges for C2C CC standards and relevant research. Presentation at car2car forum, May 2007
4. J.P. Hubaux, S. Capkun, and J. Luo, The security and privacy of smart vehicles. IEEE Security and Privacy, Vol. 4, No. 3, pp. 49–55, 2004
5. B. Parno and A. Perring, Challenges in securing vehicular networks. In Proceeding of Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets-IV), November 2005
6. E. Fonseca and A. Festag, A survey of existing approaches for secure ad hoc routing and their applicability to VANETS, NEC network laboratories, March 2006
7. IEEE, IEEE standard 1471–2000: IEEE recommended practice for architectural description of software-intensive systems, 2000
8. <http://www.network-on-wheels.de>
9. M. Gerlach, NoW – Network on Wheels: C2X security. In Proceedings of the 5th Workshop on Intelligent Transportation Systems, WIT, Hamburg, February 2008
10. M. Gerlach, A. Festag, T. Leinmüller, G. Goldacker, and C. Harsch, Security architecture for vehicular communication, NoW project, WIT 2007
11. <http://www.sevecom.org>
12. A. Kung, Security architecture and mechanisms for V2V/V2I. Public deliverable D2.1, Sevecom project, 2007
13. <http://www.gstforum.org>
14. <http://evita-project.org>
15. <http://www.preciosa-project.org>

国际视野 科技前沿

汽车先进技术译丛

发动机试验理论与实践

如何将汽车制成精品

汽油车近零排放技术

车辆动力学及控制

载货汽车技术

轻量化设计——计算基础与构件结构 第2版

汽车总线系统

制动技术手册

减振器手册

汽车底盘手册

汽车工程手册 (德国版)

汽车工程手册 (美国版)

汽油机直喷技术

轻量化

汽车轮胎研发

汽车轻量化

车辆操纵动力学——理论与应用

振动阻尼、控制和设计

电动汽车实用技术 (双语版)

汽车电力电子装置与电机驱动器手册

汽车变速器理论基础、选择、设计与应用

汽车及其驱动系统虚拟产品开发

汽车电子技术——硬件、软件、系统集成和项目管理

如何在交通运输中降低油耗与废气排放

汽车主动制动控制系统设计

汽车嵌入式系统手册

车辆操纵动力学 (原书第2版)

车联网通信技术

车载ad hoc网络的安全性及隐私保护

地址: 北京市百万庄大街22号

邮政编码: 100037

电话服务

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信公众号

上架指导 交通运输 / 汽车技术

ISBN 978-7-111-54540-8

策划编辑◎孙鹏 / 封面设计◎鞠杨

ISBN 978-7-111-54540-8



9 787111 545408 >

定价: 69.00元